

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2013

PAVEL KŠANDA

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: PRŮMYSLOVÝ MANAGENT (N3108)

Studijní obor: Produktový management – PMT

TEPELNĚ-KOMFORTNÍ VLASTNOSTI
SPACÍCH PODLOŽEK

THERMAL COMFORT PROPERTIES OF
SLEEPING MATS

Pavel Kšanda

KHT – 209

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Konzultant diplomové práce: Dr. Vladimír Bajzík

Rozsah práce: 50 – 60 stran

Počet stran textu: 62

Počet obrázků: 22

Počet tabulek: 8

Počet stran příloh: 14

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra hodnocení textilií

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel KŠANDA**

Studijní program: **B3107 Textil**

Studijní obor: **Textilní marketing**

Název tématu: **Vliv vlhkosti na tepelné - izolační vlastnosti vybraných
tepelné - izolačních materiálů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1) Prostudujte teoretické poznatky o vlivu vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti a paropropustnost textilií.
- 2) Zpracujte přehled prodejců spacích pytlů na území ČR a specifikujte použité tepelně-izolační materiály a porovnejte jejich cenovou výhodnost vztaženou na jednotku tepelné izolace.
- 3) V simulovaných podmínkách použití proměřte tepelný odpor a propustnost pro vodní páry tepelně-izolačních vrstev alespoň v šesti stupních vlhkosti.
- 4) Zjistěte hodnoty ultra suché vlhkosti proměřovaných vzorků.
- 5) Zhodnoťte tepelně-izolační vlastnosti a propustnost pro vodní páry zkoušených vzorků a porovnejte je s jejich hodnotami v stavu suchém. Pokuste se vysvětlit nalezené rozdíly z hlediska materiálu a struktury rouna.
- 6) Ověřte dotazníkem, zda klienty vliv vlhkosti na tepelně-izolační vlastnosti spacích pytlů zajímají a zda vaše měření odpovídají jejich zkušenostem popřípadě zkušenostem prodejců.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce:

tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- 1) Hes, L., Sluka P. Úvod do komfortu textilií 1. vydání. TUL, Liberec 2005.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.
Katedra hodnocení textilií

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Iveta Vyskočilová
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání bakalářské práce: 31. října 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. května 2009

(vložit originál)

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří mi svojí podporou umožnili dokončit tuto diplomovou práci. Zvláštní poděkování náleží především vedoucímu panu Prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc., který mi svými postřehy a připomínkami při zpracovávání pomáhal. Za podnětné rady a nápady děkuji i mé rodině a mým přátelům.

ANOTACE

Diplomová práce pojednává o tepelně-komfortních vlastnostech spacích podložek. Dále tato práce zahrnuje výpočty a měření vybraných tepelně izolačních materiálů. V neposlední řadě jsou v práci uvedeny návrhy na zlepšení konstrukce spacích podložek.

KLÍČOVÁ SLOVA:

spací podložka

tepelný odpor

tepelná vodivost

ANNOTATION

The Diploma thesis deal with the thermo-comfort properties of sleeping mats. The work also includes calculations and measurements of selected heat - insulating materials. Last but not least, in diploma thesis set out proposals to improve the design of sleeping mats.

KEY WORDS:

Sleeping mat

thermal resistance

thermal conductivity

Seznam zkratek

A	plocha, povrch [m^2]
a	teplotní vodivost [m^2/s]
b	tepelná jímavost [$\text{W} \cdot \text{s}^{1/2}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
d	průměr
g	tíhové zrychlení [m/s^2]
L	charakteristický rozměr [m]
m	hmotnost [kg]
P	tlak [Pa]
PE	polyethylen
PUR	polyuretan
Q	tepelný tok [W/m^2]
q	hustota toku tepla [W/m^2]
R	poloměr [m], plošný odpor vedení [$\text{W}^{-1} \text{K} \cdot \text{m}^2$]
S	plocha, povrch [m^2].
T	teplota [K]
t	teplota [$^{\circ}\text{C}$], čas [s]
U	obvod
V	Objem [m^3].
λ	tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$], vlnová délka [μm]
π	pí, Ludolfovo číslo
Σ	suma, součet všech hodnot
s^2	směrodatná odchylka
σ^2	směrodatná odchylka
μ	střední hodnota
\pm	plus mínus

1.	ÚVOD.....	11
2.	TEORETICKÁ ČÁST	13
2.1	DEFINICE KOMFORTU OBECNĚ.....	13
2.2	KOMFORT Z HLEDISKA TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	13
2.2.1	<i>Dělení komfortu</i>	<i>14</i>
2.2.2	<i>Termofyziologický komfort</i>	<i>14</i>
2.2.3	<i>Senzorický komfort</i>	<i>15</i>
2.2.4	<i>Patofyziologický komfort</i>	<i>15</i>
2.2.5	<i>Psychologický oděvní komfort</i>	<i>16</i>
2.2.6	<i>Termoregulace.....</i>	<i>17</i>
2.3	PŘENOS TEPLA.....	18
2.3.1	<i>Přenos tepla kondukcí.....</i>	<i>18</i>
2.3.2	<i>Přenos tepla konvekcí</i>	<i>19</i>
2.3.2.1	<i>Přirozená konvekce</i>	<i>20</i>
2.3.3	<i>Přenos tepla zářením</i>	<i>20</i>
2.3.4	<i>Vliv teploty.....</i>	<i>21</i>
2.4	HODNOCENÍ KOMFORTU TEXTILÍ	22
2.4.1	<i>Alambeta</i>	<i>23</i>
2.4.1.1	<i>Měrná tepelná vodivost</i>	<i>23</i>
2.4.1.2	<i>Teplovní vodivost.....</i>	<i>24</i>
2.4.1.3	<i>Tepelná jímavost</i>	<i>24</i>
2.4.1.4	<i>Plošný odpor vedení tepla.....</i>	<i>24</i>
2.4.1.5	<i>Tepelný tok.....</i>	<i>25</i>
2.4.2	<i>Permetest.....</i>	<i>27</i>
2.5	HISTORIE SPACÍCH PODLOŽEK.....	27
2.6	DRUHY SPACÍCH PODLOŽEK	28
2.6.1	<i>Textilní podložky s hliníkovou folií</i>	<i>28</i>
2.6.2	<i>Pěnové podložky z polyetylenu</i>	<i>28</i>
2.6.3	<i>Spací podložky z ethylenvinylacetátu</i>	<i>29</i>
2.6.4	<i>Profilované podložky.....</i>	<i>29</i>
2.6.5	<i>Nafukovací karimatky.....</i>	<i>30</i>
2.6.6	<i>Samonafukovací karimatky</i>	<i>30</i>
2.7	SHRNUTÍ.....	30
2.8	VÝROBA SPACÍCH PODLOŽEK, LEGISLATIVA A TESTOVÁNÍ	31
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
3.1	VÝBĚR VZORKŮ	34

3.1.1	Popis vzorků	34
3.1.2	Příprava vzorků na měření a měření.....	38
3.1.3	Naměřené hodnoty.....	38
3.1.4	Porovnání extrémů polyuretanu a vzduchové mezery.....	51
3.2	VÝPOČTY	59
3.2.1	Výpočet přenosu tepla konvekcí	59
3.2.2	Výpočet přenosu tepla sáláním	63
3.2.3	Konkrétní příklady výpočtů	65
3.2.3.1	Výpočet přenosu tepla konvekcí	65
3.2.3.2	Výpočet přenosu tepla sáláním	67
3.2.3.3	Přenos tepla vedením	68
3.2.3.4	Další postup výpočtu příkladu	68
4.	ZÁVĚR	71
5.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
6.	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
7.	SEZNAM TABULEK.....	76
8.	SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ.....	77
9.	SEZNAM PŘÍLOH	78

1. ÚVOD

V dnešní době, kdy jsou ze strany spotřebitele kladeny stále vyšší požadavky nejen na spolehlivost, funkčnost, ale i na komfort při užívání sportovního vybavení, je stále velmi těžké vybrat kvalitní a vhodnou sportovní výstroj. Spotřebitel má možnost vybírat dle ceny, a také dle informací o vlastnostech výrobku, které mu výrobce popřípadě prodávající, o konkrétním výrobku poskytne. Avšak právě cena bývá při volbě správného sportovního vybavení tím nejméně vhodným kritériem. Nízká pořizovací cena výrobku jde často ruku v ruce s nízkou kvalitou. To platí především pro levné dovozové sportovní vybavení z Asie. Konečný spotřebitel, jenž takovéto vybavení zakoupí, posuzuje výrobek právě jen dle ceny a nehledí na konečnou kvalitu produktu. Náročnější spotřebitel již nevyhledává zboží dle ceny. Je mu známo, že nízká cena bývá v drtivé většině případů vykoupena nepříliš kvalitním zpracováním výrobku. Přitom v určitých situacích, zejména ve vrcholovém sportu, je nutné moci se na kvalitu výrobku absolutně spolehnout.

Výjimku tvoří ani spací podložky, kterých je v dnešní době na trhu široká řada. Označení spací podložka je pro běžného uživatele téměř neznámým pojmem, a to především kvůli všeobecně vžitému termínu „karimatka“, kterým se tento výrobek běžně nazývá. Spotřebitel má možnost výběru od podložek aluminiových, které dovedou izolovat uživatele od chladného povrchu jen s malou účinností, a zároveň téměř vůbec nevyrovnávají terén, který je určen k odpočinku, až po samonafukovací spací podložky, jež jsou spíše než spacím podložkám podobné luxusním matracím.

Spací podložka je nezbytnou součástí výbavy kteréhokoli člověka, který vyhledává aktivnější životní styl. V dnešní době již neplatí vžitá premisa, že spací podložka je určena primárně jen ke spaní v přírodě, nebo je dokonce určena výhradně pro vysokohorskou turistiku. Stále častěji můžeme vidět, že různé variace spacích podložek jsou hojně využívány i v jiných sportech nebo při rekreačních aktivitách, při cvičení na zemi, například při józe. Spací podložky v některých případech suplují i roli hraček či jakýchsi hracích podložek pro děti.

Primárně je vždy nutné rozhodnout, za jakým účelem bude spací podložka pořizována, jakým způsobem a jak často bude využívána a do jaké míry záleží na pohodlí a na komfortu při jejím užívání. Je třeba zvážit, zda skutečně, a popřípadě nakolik, jsou termo-izolační vlastnosti spací podložky neopomenutelnou nutností, tedy kdy je nutné dbát

na bezpečí zejména s ohledem na zachování zdraví. O těchto věcech by každý spotřebitel měl rozhodovat sám, zejména s ohledem na své potřeby a rozum, avšak každý spotřebitel by měl mít přístup ke všem informacím, jež jsou pro rozhodování nutné a potřebné.

V úvodu je nutné předeslat, že téma diplomové práce, *Tepelně-komfortní vlastnosti spacích podložek*, bylo vybráno zejména s ohledem na fakt, že by bylo přínosné prohloubení dosavadních znalostí o spacích podložkách a následné konfrontování těchto znalostí s využitím v praxi. Diplomová práce se tedy bude zabývat problematikou tepelně-komfortních vlastností spacích podložek. V přípravné fázi si práce klade za cíl zmapovat tepelně-komfortní vlastnosti spacích podložek a tím napomoci s orientací ve výše uvedené problematice výběru vhodné spací podložky. Dále si práce klade za cíl zmapování dosavadních poznatků o dané problematice, kdy budou shromážděny informace o aktuálním stavu technického vývoje spacích podložek. V rámci této činnosti budou osloveni výrobci, dovozci, popřípadě dodavatelé spacích podložek a v neposlední řadě i orgány dozoru nad trhem.

Pro ověřování tepelně-komfortních vlastností bude vybráno nejméně osm vzorků samonafukovacích a pěnových spacích podložek. Dále budou s ohledem na potřeby této diplomové práce vybrány rozšiřující vzorky tak, aby měření vlastností spacích podložek obsáhlo celé spektrum běžně dostupných spacích podložek prodávaných na českém trhu. Jednotlivé druhy spacích podložek budou nejprve proměřeny v laboratořích Technické univerzity v Liberci na přístroji Alambeta. Proměřením budou získána experimentální data – fyzikální veličiny – tepelná vodivost, tepelný odpor a tepelná jímavost. Měření samotné bude realizováno při hladinách přtlaku 200 Pa a 1000 Pa. Výsledky měření budou zhodnoceny a následně graficky znázorněny.

V další části diplomové práce budou vypočteny teoreticky stanovené hodnoty tepelné vodivosti a tepelného odporu pro vzorky samonafukovacích spacích podložek, kdy tyto vypočtené hodnoty budou porovnávány s hodnotami získanými při experimentálních měřeních. V závěru diplomové práce budou získané údaje a teoretické poznatky vyhodnoceny a použity k vylepšení konstrukce samonafukovací spací podložky.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Definice komfortu obecně

Komfort je slovo cizího původu, všeobecně se jím označuje stav určitého pohodlí či dostatku. Komfort je často spojován se subjektivním vnímáním hodnotitele. V níže uvedené části této diplomové práce bude popsán stručný přehled pojednávající o komfortu textilií, a to zejména s ohledem na souvislost s hodnocením komfortu spacích podložek. Současně zde budou uvedeny způsoby, jakými lze textilní komfort hodnotit.

2.2 Komfort z hlediska textilních materiálů

Komfort, z hlediska textilních materiálů, vyjadřuje stav lidského organismu, kdy jsou fyziologické funkce v optimálním stavu. To znamená, že okolní prostředí, včetně oděvu samotného, nezpůsobuje vnímání nepříjemných vjemů, které bychom mohli vnímat svým vlastním tělem, potažmo smysly. Komfort lze vnímat všemi lidskými smysly vyjma chuti. Nejsilněji je komfort vnímán hmatem, následuje zrak, sluch a čich.

Subjektivně lze tedy komfort brát jako pocit pohodlí, kdy nepřetrvávají vnímané znepokojivé pocity chladu, tepla nebo bolesti. Z výše uvedeného vyplývá, že setrvání v tomto stavu je žádoucí s ohledem na pracovní či jiné výkony.

Diskomfort (nepohodlí) může nastat ve chvíli, kdy subjekt začne pociťovat nepříjemný chlad, přílišné teplo nebo bolest. Setrvání v tomto stavu je proto nežádoucí. Pocity chladu se obvykle dostavují s ohledem na nízkou teplotu okolního prostředí, popřípadě se mohou projevit při nižším stupni pracovního zatížení. Pocit tepla, který rovněž vede k nepohodlí, se může dostavit v reakci na okolní vlhké a teplé klima, kterému je subjekt vystaven. Pocit tepla může nastat popřípadě i v návaznosti na vyšší fyzický pracovní výkon.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

2.2.1 Dělení komfortu

Jak již bylo popsáno výše, vnímání komfortu je spojeno se subjektivním vnímáním nositele textilního materiálu, respektive oblečení. Pokud je vycházeno předpokladu, že lidské potřeby a stanovení pohodlí se v čase mění, je nutné současně vnímat komfort i z pohledu skupin těch lidí, kteří mají na komfort vyšší nároky než běžný spotřebitel. V těchto ohledech se jedná zejména o skupiny lidí vyššího věku, o lidi nemocné a malé děti. Výjimkou zcela jistě nejsou ani nositelé ochranných oděvů, k nimž je možné zařadit hasiče, vojáky, policisty a jedince vystavené velkým teplotním výkyvům.

Komfort samotný je možné a praktické rozdělit do několika kategorií, které zohlední potřeby spotřebitelů. Z hlediska rozdělení komfortu se tedy jedná o komfort termofyziologický, senzorický, psychologický a patofyziologický.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

2.2.2 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort nastává v okamžiku, kdy organismus není nucen regulovat lidskou teplotu. Člověk tedy nepocituje ani chlad ani teplo. Zároveň se nedostavují projevy termoregulace, k nimž patří pocení, nebo svalový třes. Termofyziologický komfort je tedy charakterizován stavem lidského organismu, který je v optimu. S absencí pocitů tepla a chladu lze říci, že nastává stav tepelného pohodlí. Toto pohodlí nastává za optimálních podmínek, kdy je teplota lidské pokožky v rozmezí $33\text{ }^{\circ}\text{C} - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost vzduchu je $50 \pm 10\%$, rychlost proudění vzduchu je $25 \pm 10\text{ cm.s}^{-1}$, obsah oxidu uhličitého se pohybuje kolem $0,07\%$ a na pokožce je absence vody. S ohledem na konstrukci textilních materiálů je přínosné zajistit, aby bylo dosahováno konstrukčních vlastností textilií, které budou splňovat výše uvedené optimální hodnoty.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

2.2.3 Senzorický komfort

Senzorický komfort je možné definovat jako vjem nebo pocit člověka při přímém styku pokožky s první vrstvou oděvu. V této souvislosti může docházet k příjemným a nepříjemným pocitům, které jsou vnímány nositelem oděvu. Senzorický komfort je dále dělen na komfort nošení a omak.

Komfort nošení zahrnuje především povrchovou strukturu textilií, vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému, schopnost textilie absorbovat plynnou či kapalnou vlhkost.

Omak je do jisté míry veličinou subjektivní. Zjednodušeně lze omak charakterizovat vlastnostmi, mezi něž patří: hladkost, tuhost, objemnost, tepelně kontaktní vjem a struktura profilu textilie, popřípadě i roztažnost. Omak je založen na vjemech získávaných prostřednictvím prstů a dlaně, tedy přímým kontaktem s textilií.

Vnímání senzorického komfortu je realizováno prostřednictvím receptorů umístěných v pokožce, kdy v pokožce jsou umístěny receptory detekující tlak, bolest, vzestup, či pokles teploty. Zajímavostí je, že v lidské pokožce nejsou umístěny receptory detekující vlhkost. Vnímání vlhkosti je realizováno prostřednictvím receptorů chladu a tlaku.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

2.2.4 Patofyziologický komfort

Komfort nošení textilních materiálů je ovlivňován také patofyziologickými, respektive toxickými vlastnostmi textilních materiálů. Toto lze chápat jako působení chemických látek obsažených v textilních materiálech a současně jako reakci mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce. Tedy patofyziologický komfort nebo jeho vnímání je odvislé od odolnosti člověka vyrovnávat se s účinky chemických látek obsažených v textilních materiálech. Dalším faktorem patofyziologického komfortu je růst mikroorganismů v oděvním mikroklimatu mezi pokožkou člověka a textilním materiálem.

Vliv výše uvedených faktorů (působení chemikálií, růst mikroorganismů) na zdraví člověka může vést k podráždění pokožky, v některých případech až ke kožním onemocněním jako jsou alergie, dermatózy etc. Z těchto důvodů je nutné při konstrukci oděvů přihlížet k patofyziologickému komfortu.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

2.2.5 Psychologický oděvní komfort

Psychologický komfort je možné chápat jako stav mysli člověka/nositele textilního oděvu s ohledem na sociální a kulturní hlediska. Sociální hlediska přitom zahrnují například věk, vzdělání, sociální třídu, společenskou pozici. Kulturní hlediska zahrnují zvyky, tradice, náboženské a jiné obřady. Dalším faktorem psychologického komfortu může být i hledisko historické, kdy je ověřeno, že lidé mají sklon cítit se dobře v textilních výrobcích vyrobených z přírodních materiálů nebo materiálů, které přírodní původ napodobují. Nedílnou součástí psychologického komfortu je i faktor klimatický, u něhož musí být brán zřetel na okolní prostředí, ze kterého nositel textilních materiálů pochází. Do jisté míry se tomuto prostředí musí přizpůsobit, ať již sám, nebo pomocí oděvu samotného. V neposlední řadě ovlivňují psychologický komfort nošení ekonomické faktory zahrnující podmínky obživy, technologický vývoj a politický systém.

Dále je možné konstatovat, že vysoká úroveň psychologického komfortu může nahrazovat komfort termofyziologický, popřípadě senzorický. Například nošení policejní uniformy a hrdost na příslušnost k ozbrojeným sborům může vést k potlačení nepříjemných senzorických vjemů jako jsou tlak, škrábání, špatný odvod vlhkosti textilního materiálu, z něhož je uniforma zhotovena. Vlivem psychologického oděvního komfortu mohou být do jisté míry absentovány pocity chladu či tepla.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

2.2.6 Termoregulace

V návaznosti na téma této diplomové práce, *tepelně-komfortní vlastnosti spacích podložek*, budou níže uvedeny a popsány souvislosti termoregulace a vlivu teploty na lidský organismus, které se přímo vztahují k danému tématu.

Schopnost člověka udržovat tělesnou teplotu v daných mezích, navzdory změnám teploty okolního prostředí, je nazývána termoregulací. Tělesná teplota těla zdravého člověka je udržována termoregulačním systémem okolo $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále lze dle dostupné literatury konstatovat, že tělesná teplota je v různých částech těla odlišná. Tento jev je odvislý od fyziologického stavu člověka, a také od okolních podmínek působících na organismus. Nejchladnější části nalezneme na ušních lalůčkách, špičce nosu, nebo u špiček prstů. Naopak nejvyšší teploty lze naměřit na nejlépe prokrvených částech těla, jako jsou hlava, břicho a prsa.

Předchozí odstavce čerpány z [1,3]

Lidské tělo lze chápat jako biomechanický stroj vytvářející teplo, které je v mnohých případech životně důležité. Termoregulační systém lidského těla je řízen naším mozkem, konkrétně jeho částí, která se nazývá – Hypotalamus (podvěsek mozkový). Hypotalamus za pomoci motorického a vegetativního nervového systému reguluje teplotu těla tak, aby nedocházelo ke zbytečnému přehřívání či prochladnutí organismu.

Nástroje termoregulačního systému lidského těla představují: hnědá tuková tkáň, cévy a potní žlázy. Výše uvedené nástroje jsou součástí sympatického nervového systému. Termoregulaci lidského těla využívá i somatomotorický nervový systém, kdy je tělesná teplota regulována svaly a volnými pohyby. Nejvýznamnější vlastností termoregulačního systému je detekování interních i externích teplotních podmínek a přizpůsobení se těmto podmínkám. S adaptováním se na různé teplotní zatížení napomáhají lidskému tělu vnitřní a vnější tepelné bariéry. Z pohledu diplomové práce je nutné zmínit, že vnější tepelné bariéry si člověk vytváří sám. Vnější tepelnou bariéru je možné chápat jako oblečení či spací podložku, jež člověka chrání před ztrátami tepla.

V základu lze rozlišit dva druhy termoregulace. Prvním druhem je termoregulace chemická, která v lidském organismu zapříčiňuje tvorbu tepla. Toho je dosahováno látkovou přeměnou, respektive chemickými reakcemi. Druhá je termoregulace fyzikální, která zahrnuje podíly jednotlivých odvodů tepla z organismu (tvorba a výdej tepla). Přenos tepla mezi organismem a okolím je pak realizován prostřednictvím níže popsanych fyzikálních jevů.

Předchozí odstavce čerpány z [1,3]

2.3 Přenos tepla

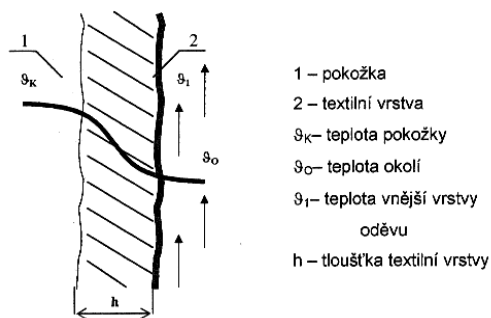
Přenos tepla mezi člověkem a jeho okolím nastává třemi níže uvedenými způsoby:

- kondukcí
- konvekcí
- zářením

2.3.1 Přenos tepla kondukcí

Přenos tepla kondukcí je jedním z nejčastějších způsobů šíření tepelné energie. Fyzikální jev nastává při styku pevných látek, kdy předmět s větší tepelnou energií předává tuto energii předmětu s nižší hodnotou tepelné energie.

Kondukcí, neboli vedením, je ztráceno až 5 % tepelné energie. Vedení tepla kondukcí, s ohledem na zaměření diplomové práce, nastává při kontaktu částí těla, ať už chodidel nebo zadních partií těla, se spací podložkou. Schéma přenosu tepla je vyobrazeno na obrázku č. 1.

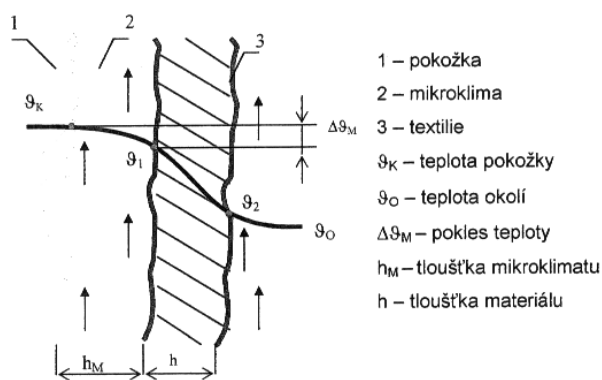


Obrázek č. 1 – přenos tepla vedením čerpáno z [1].

2.3.2 Přenos tepla konvekcí

Konvekce je přenos tepla pohybem nebo uvnitř tekutin. Přenos tepla konvekcí je nejvýznamnějším přenosem tepla mezi člověkem a jeho okolím. Nastává za takového předpokladu, že mezi lidskou pokožkou a textilním materiálem, v tomto případě spací podložkou, je vzduchová vrstva, kde může za pomoci kapaliny nebo plynu docházet k odvodu tepla do okolí. Lze tedy říci, že mezi člověkem a proudícím prostředím se vytváří mezní vrstva o dané tloušťce (tloušťka je značena řeckým písmenem δ), kdy se v této mezeře realizuje teplotní spád.

Předchozí odstavce čerpány z [1].



Obrázek č. 2 – přenos tepla prouděním čerpáno z [1].

Konvekci je možné podle druhu dále dělit:

- **přirozená konvekce** je vyvolána vztakovými silami, jež vznikají při rozdílu tíhy.
- **vynucená konvekce** je způsobena prouděním tekutiny, což může být způsobeno větrem, ventilátorem, popřípadě čerpadlem.
- **kombinace** obou dvou předešlých druhů konvekcí, kdy vztakové síly doplňují síly setrvačné. Kromě sil setrvačných existují i síly souměřitelné. V tomto případě se může jednat o příklad proudu teplého vzduchu, který ofukuje chladné okno.

2.3.2.1 Přirozená konvekce

Fyzikální podmínky vzniku přirozené konvekce nejsou závislé pouze na gradientu teplot a gravitačním zrychlení. Například v případě vodorovné mezery mezi dvěma deskami dochází k volné konvekci pouze za toho předpokladu, že tok tepla směřuje zdola nahoru, přičemž je umožněn vznik nestabilní cirkulace vířící tekutiny. V opačném případě je tekutina v klidu, teplejší tekutina se shromažďuje pod teplejší částí a k samotnému toku tepla dochází vedením.

Přenos tepla je tedy spojen s přirozeným prouděním tekutin, které vzniká u povrchu s jinou teplotou než je teplota tekutiny. U volné konvekce je významná část tepelného toku sdílena také radiací.

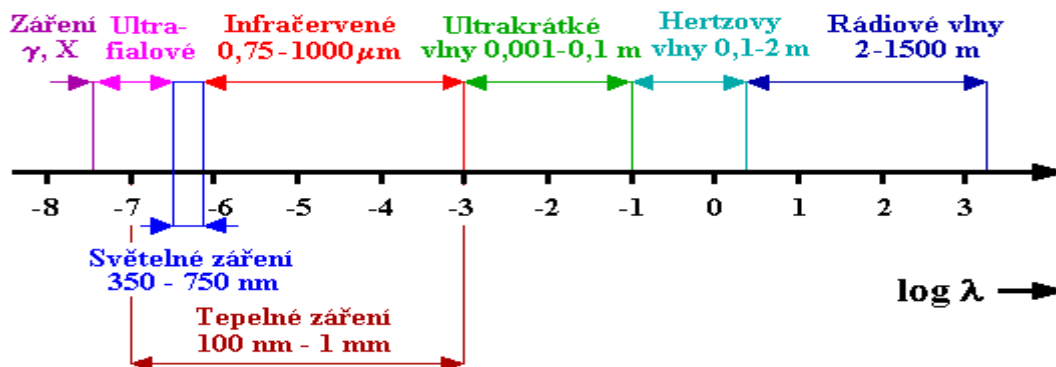
Přirozenou konvekci lze dále rozdělit na konvekci do neohraničeného prostoru a konvekci do ohraničeného prostoru. Konvekci do neohraničeného prostoru si lze představit jako přenos energie nad zdroji tepla – sedící člověk. Konvekci do ohraničeného prostoru pak lze chápat jako přenos tepelné energie mezi skly – konvekce na stěnách místnosti. Dále je tento druh přenosu tepla chápán jako volná konvekce v mezerách, kdy je počítáno s vedením tepla korigovaným na konvekci.

Výše uvedený popis volné konvekce byl do této diplomové práce zařazen zejména s ohledem na výpočty, jež jsou uvedeny v praktické části diplomové práce.

2.3.3 Přenos tepla zářením

Záření je přenos elektromagnetické energie ve formě vln s příčnou vibrací vzhledem ke směru jejich šíření. Jestliže přívod energie pochází od srážek s molekulami, které charakterizují teplotu, záření je pak označováno jako tepelné. Vlnová délka tepelného záření $\lambda = 0,3$ až $100 \mu\text{m}$, tepelné záření absorbované tělesy je přeměněno v teplo. Teplo vyzařované člověkem se pohybuje okolo středu infračerveného spektra.

Sálání je proces šíření elektromagnetických vln v rozsahu tepelného záření, které je dle délky vlny ultrafialové kdy $\lambda = 0,01$ až $0,39 \mu\text{m}$. Světelné záření, které je pro člověka viditelné $\lambda = 0,4$ až $0,75 \mu\text{m}$ a infračervené $\lambda = 0,75$ až $0,100 \mu\text{m}$.



Obrázek č. 3 – spektrum elektromagnetického záření čerpáno z [1].

Záření může být při dopadu na povrch tělesa objektem buď pohlceno (absorpce), nebo může dojít k odrazení záření (reflexi). V neposlední řadě může záření objektem projít (transmise), jak vyjadřuje níže uvedená rovnice energetické bilance.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_p + \mathbf{E}_a + \mathbf{E}_r \quad (1)$$

Předchozí odstavce čerpány z [1,2,7]

2.3.4 Vliv teploty

Okolní prostředí, respektive teplota, má velký vliv na lidské tělo, a to jak z hlediska biologického, tak z hlediska fyziologického. Orgány v lidském těle pracují při teplotě okolo 37°C . Vzrůst nebo pokles teploty obvykle předznamenává to, že organismus není v pořádku. V extrémních případech, kdy je lidské tělo vystaveno poklesu nebo vzrůstu teploty, může dojít k narušení rovnováhy termoregulačního systému. Dále může při působení chladu dojít k poškození tkáně a následné tvorbě omrzlin. V případě nadměrného vystavení zdroji tepla vznikají popáleniny. V extrémních případech může být důsledkem vystavení chladu i hypotermie, jež může mít za následek až celkové selhání živého organismu a následně smrt. V mírnějších případech hypotermie hrozí nevratná poškození mozku či amputace končetin

Různé teploty okolního prostředí, v závislosti na čase vystavení, mají velký vliv na fyziologický a psychologický stav člověka. Překročení teplotních a časových mezí většinou vede k poruše termoregulačního systému. Vyvolaný termoregulační stres, ať již zapříčiněný chladem, nebo teplem, vede v počátcích k únavě a pocitu neklidu. Následně se při větším tepelném zatížení dostávají pocity tepelného zatížení, projevující se v krajních případech až tepelným kolapsem. Při vystavení zdroji tepla či chladu tak dochází obvykle k bolestivým projevům a výskytu omrzlin či popálenin. Výše popsáný děj je ilustrativně znázorněn na následujícím obrázku.

Předchozí odstavce čerpány z [3].



Obrázek č. 4 – vliv teploty prostředí a pobytu v něm na psychologický a fyziologický stav člověka čerpáno z [3].

2.4 Hodnocení komfortu textilií

V následujících kapitolách bude uvedeno, jakými způsoby lze hodnotit komfort a současně zde bude uveden i popis přístrojů používaných k hodnocení komfortu.

Přenos tepla a vlhkosti je možné hodnotit dvěma způsoby. Jednak pomocí přístrojů, které nezahrnují interakci pokožka – oděv. Tento způsob měření je založen na použití tzv. „skin

modelu – modelu lidské pokožky“, a to při podmínkách, jež jsou blízké fyziologickému režimu lidského těla, a hodnotí tedy termofyziologický komfort daleko věrněji.

Při hodnocení komfortu mohou jako ukazatelé posloužit například metody vyvinuté Dr. Meechelsem a Dr. Umbachem z institutu oděvní hygieny v Hohensteinu, kteří za pomoci experimentálního výzkumu sestavili empirické vztahy pro objektivní hodnocení celkového komfortu a jeho složek. Popřípadě lze komfort hodnotit za pomoci systému KES vyvinutého profesorem Kawabatou. Tento systém se sestává ze čtyř přístrojů měřících 15 charakteristik plošných textilií v rozsahu běžného namáhání oděvních textilií při nošení. Při těchto měření je hodnocen zejména omak. S ohledem na zaměření této diplomové práce je nejdůležitější hodnocení a měření komfortních vlastností pomocí přístroje Alambeta, který bude popsán níže.

2.4.1 Alambeta

Přístroj Alambeta byl vyvinut profesory Hesem a Doležalem za účelem měření tepelně fyzikálních vlastností textilních materiálů. Jedná se o vlastnosti izolační, tedy o tepelný odpor nebo tepelnou vodivost, a vlastnosti dynamické, tedy o tepelnou jímavost a tepelný tok. Přístrojem lze měřit i tloušťku vzorku. V následujících odstavcích bude uveden stručný přehled měřených fyzikálních veličin.

2.4.1.1 Měrná tepelná vodivost

Měrná tepelná vodivost je značena λ a je udávána v měrných jednotkách [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$]. Je definována jako součinitel měrné tepelné vodivosti λ . Představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. S rostoucí teplotou klesá hodnota tepelné vodivosti.

Předchozí odstavce čerpány z [1].

$$\lambda = \frac{-q}{\text{Grad}(T)} \quad (2)$$

2.4.1.2 Teplotní vodivost

Měrná teplotní vodivost vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotní změny. Čím je hodnota vyšší, tím se látka rychleji vyrovnává s teplotou za předpokladu nestacionárního procesu. Měrná teplotní vodivost je značena písmenem **a**, je udávána v měrných jednotkách [m²/s].

Předchozí odstavce čerpány z [1].

$$a = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho \cdot c}} \quad (3)$$

2.4.1.3 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost je parametr zavedený profesorem Hesem. Jedná se o parametr, který charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Tepelná jímavost je udávána v měrných jednotkách [W.S^{1/2}/m².K]. Měrná tepelná jímavost je značena písmenem **b**. Čím je hodnota tepelné jímavosti **b** u materiálu nižší, tím je při dotyku hodnotitele materiál považován za hřejivější.

Předchozí odstavce čerpány z [1].

$$b = \sqrt{\lambda} \cdot \rho \cdot c \quad (4)$$

2.4.1.4 Plošný odpor vedení tepla

Plošný odpor vedení tepla je značen písmenem **R**, hodnota je pak udávána v měrných jednotkách [W⁻¹K.m²]. Tato veličina je přímo úměrná teplotní vodivosti, a to ve smyslu: čím je hodnota tepelného odporu větší, tím je zkoumaný materiál lepším izolantem a také horším vodičem. Snižuje se tedy hodnota tepelné vodivosti. Plošný odpor vedení tepla představuje množství tepla, které projde vrstvou materiálu o jednotkové ploše za jednotku času při jednotkovém teplotním spádu. Tepelný odpor je charakterizován níže uvedenou rovnicí.

Předchozí odstavce čerpány z [1]

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (5)$$

2.4.1.5 Tepelný tok

Tepelný tok q [W/m^2] udává množství tepla šířícího se z ruky o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času. Pro krátkou dobu kontaktu přibližně platí:

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi} \cdot \tau} \quad (6)$$

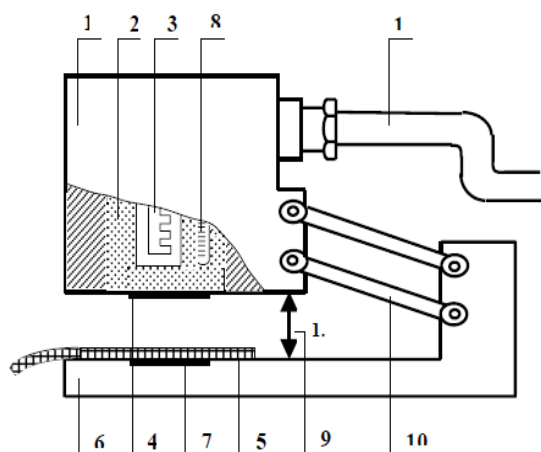
Předchozí odstavce čerpány z [1].

Výhody přístroje Alambeta, který měří tepelně-komfortní parametry textilních materiálů, spočívají v době samotného měření. Doba proměření vzorků se pohybuje v intervalu od 2 do 5 minut. Další velkou výhodou je nedestrukční testování vzorků, což znamená, že pro účely měření není zapotřebí vzorky ničit. Současně pro stanovení výše uvedených parametrů není potřeba velkého množství vzorků s ohledem na kvantitu a velikost vzorku samotného.

Princip přístroje Alambeta spočívá v napodobení parametrů lidské pokožky. Na začátku měřicí sekvence klesne měřicí hlavice na textilií, která je umístěna na základnu přístroje, na níž se nachází tepelný snímač. Po klesnutí měřicí hlavice se začne měnit povrchová teplota měřeného vzorku a procesor počítače registruje průběh tepelného toku. V další fázi je měřena tloušťka vzorku pomocí foto-elektronického senzoru. Měření tepelného omaku probíhá zahřátím měřicí hlavice na teplotu $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, tato teplota reprezentuje průměrnou teplotu lidské pokožky, zatímco teplota vzorku zůstává na teplotě $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Podobně časová konstanta systému na měření tepelného toku, který měří přímo tepelný tok mezi měřicí hlavicí a textilií, vykazuje podobné hodnoty (0,07 sec) jako lidská pokožka.

Předchozí odstavce čerpány z [1].

1. Tepelně izolační kryt
2. Kovový blok
3. Topné těleso
4. Snímač tepelného toku
5. Vzorek textilie
6. Základna přístroje
7. Snímač tepelného toku
8. Teploměr
9. Volný prostor před měřením
10. Paralelní vedení



Obrázek č. 5 – schéma přístroje Alambeta čerpáno z [1].

Termofyziologický komfort lze popsat pomocí dvou proměnných, a to pomocí tepelného a výparného odporu, přičemž výparný odpor sehrává hlavní roli při ochlazování pokožky – pocení. Důležité je, že není možné opomenout rozlišení celkového výparného odporu a mezní vrstvy, tedy výparného odporu vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu a také tepelný odpor vlastního oděvu a mezní vrstvy. Do jaké míry bude k ochlazování docházet záleží jednak na rozdílu parciálních tlaků vodních par, jež jsou přítomny na povrchu pokožky a ve vnějším prostředí, jednak na míře propustnosti oděvní soustavy.

Paropropustnost může být v případech měření modelujících skutečné přenosové jevy při nošení textilu nahrazena i výparným odporem, jenž bezprostředně charakterizuje tepelné účinky, k nimž dochází v důsledku odparu potu a jež jsou vnímány pokožkou. Dále při hodnocení komfortu můžeme přistoupit k naměření hodnot na přístrojích, jako jsou skin model a tepelný manekýn. Popřípadě lze využít přístroj Permetest, který je popsán níže. Využití přístroje Permetest je vhodné zejména z důvodu jeho dostupnosti na Technické univerzitě. Zároveň při popsání přístroje Permetest je popsán i přístroj založený na stejném principu – skin model.

2.4.2 Permetest

Dalším přístrojem používaným k hodnocení komfortu je přístroj Permetest. Přístroj funguje na bázi přístroje skin model. Je menších rozměrů a nedestrukční metodou zjišťuje vlastnosti, tedy výparný odpor, relativní propustnost pro vodní páry a tepelný odpor. Testování probíhá v intervalu jednotek minut. Pomocí přístroje lze měřit tepelný odpor, výparný odpor a relativní paropropustnost.

Permetest funguje na principu porézní, zvlhčené membrány, která simuluje lidskou kůži a podmínky ochlazování pocením. V praxi lze tento proces popsat vložením vzorku textilie do měřicí hlavice, kdy jedna strana vzorku je zvlhčována a druhá strana je ofukována. Jsou zkoumány faktory přenosu hmoty a tepla mezi lidskou kůží a okolním prostředím.

Měření probíhá tak, že měřicí hlavice je pomocí topné spirály zahřána na teplotu okolního vzduchu, který je do přístroje nasáván – teplota se pohybuje okolo 22 °C. Při měření se pak vlhkost v porézní vrstvě změní na páru, která prochází vzorkem přes separační fólii. Výparný tepelný tok je pak měřen snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná výparnému odporu. Při měření tepelného odporu je suchá měřicí hlavice udržována při teplotě o 10 °C – 20 °C vyšší, než je teplota okolního prostředí. Následně je registrován tepelný tok odváděný ze vzorku do okolního proudícího vzduchu. Odvod je realizován prostřednictvím konvekce.

Předchozí odstavce čerpány z [1].

2.5 Historie spacích podložek

Spací podložka bývá často hovorově nazývána karimatkou. Název karimatka byl převzat od prvního výrobku tohoto druhu – spací podložky s uzavřenými póry nazvané *Karrimat*. Tato spací podložka byla vyrobena britskou firmou *Karrimor* v rozmezí let 1970 – 1980. Dle dochovaných informací měla karimatka chránit před vlhkem a ztrátou tepla. Dalším úkolem nově vyvinutého produktu bylo zajištění relativně komfortního odpočinku s ohledem na vyrovnání terénu vybraného k odpočinku uživatele. V dalších letech byly spací podložky vyráběny i jinými společnostmi. Spací podložky se uplatnily jako neocenitelné pomůcky při různých outdoorových aktivitách, ať již se jednalo o rekreační

využití při běžném stanování v přírodě, při němž karimatka plnila funkci zajišťující především pohodlí uživatele, nebo o její vyžití v extrémních podmínkách, například při vysokohorských expedicích, kdy na vlastnostech spací podložky doslova závisel horolezcův život.

Předchozí citace čerpány z [8].

2.6 Druhy spacích podložek

V návaznosti na výběr vzorků spacích podložek, byl pro účely měření uskutečněných v rámci této diplomové práce proveden průzkum prodávaných výrobků v distribučních sítích zaměřujících se na sportovní potřeby. Bylo zjištěno, že spací podložky můžeme rozdělit do několika následujících kategorií.

2.6.1 Textilní podložky s hliníkovou fólií

Podložky s aluminiovou fólií jsou určeny především k užívání v letním období, popřípadě k nouzovému bivakování, a to není-li dostupná jiná alternativa. K výhodám těchto podložek patří jejich nízká hmotnost a pořizovací cena. Materiálové složení použité při konstrukci uvedeného typu spacích podložek by bylo možné vnímat i jako jejich nevýhodu. Tenká vrstva textilního materiálu (PE pěna) a aluminiové folie v řádech milimetrů nemůže uživateli poskytnout ochranu před nerovnostmi terénu.

2.6.2 Pěnové podložky z polyetylenu

Pěnové podložky stále patří k nejvyužívanějším spacím podložkám v České republice. Jsou určeny pro užívání v běžných klimatických podmínkách, např. pro rekreační turistiku. Nejsou naopak určeny pro užití v extrémních klimatických podmínkách. Mohou se lišit počtem vrstev, barev i různou šířkou. Výhodami těchto spacích podložek jsou snadná upravitelnost a nízká cena. Nevýhodami jsou náchylnost k mechanickému poškození, větší objem ve sbaleném stavu, nízký komfort užití při vyrovnávání terénních nerovností. Výroba je realizována z granulátu za přidání pěnidel a chemických přísad, které mají za

úkol vytvořit dobrou buňkovou strukturu. Tato struktura ovšem není tak kvalitní jako například u spacích podložek vyrobených z ethylenvinylacetátu. Materiál proto nemá tak dobrou mechanickou odolnost.

2.6.3 Spací podložky z ethylenvinylacetátu

Podložky bývají též nazývány EVA. Jsou určeny pro užití v běžných klimatických podmínkách, avšak jsou vhodné i na zimní táboření. Výhodou těchto podložek je, že deformaci nepodléhají tak snadno jako spací podložky s aluminiovou fólií či podložky z polyethylenu. Díky povrchové úpravě spočívající v úpravě povrchu zatavením jsou tyto podložky odolnější vůči vnějším vlivům, tedy i k přijímání vlhkosti. K nevýhodám patří vyšší pořizovací cena společně s tím, že dochází k výrobě vizuálně podobných spacích podložek, které nejsou tak komfortní a svým vzhledem vlastnosti spacích podložek z ethylenvinylacetátu pouze napodobují. Materiál využitý k výrobě spacích podložek z ethylenvinylacetátu je vyráběn speciální technologií. Nejprve je z polyethylenu vyrobena deska, do níž se pod tlakem vpraví dusík, tato deska se následně nechá odležet. Poté se materiál za přidání chemických přísad (pěnidel) vypění v tlakové nádobě za teploty okolo 100 °C. Pěnění pod tlakem je prováděno proto, aby se materiál při tomto procesu nekontrolovatelně nerozpínal, ale aby naopak vytvořil pevnou buňkovou strukturu. Díky tomuto způsobu výroby je materiál typu EVA mechanicky velmi odolný.

2.6.4 Profilované podložky

Tento druh podložek je vyráběn především pro využití v extrémních klimatických podmínkách. Výhodou profilovaných spacích podložek je vyšší izolační vrstva zajišťující jednak lepší vyrovnávání terénních nerovností, jednak lepší tepelně-komfortní vlastnosti. K nevýhodám by bylo možné zařadit vyšší pořizovací cenu podložek a jejich objem.

2.6.5 Nafukovací karimatky

Tento druh podložek je určen zejména k použití v běžných klimatických podmínkách a umožňuje využití i ve velmi vlhkém, dokonce mokřím prostředí. Mezi výhody nafukovacích podložek patří lepší tepelně-izolační vlastnosti než u výše zmíněných spacích podložek, jejich pořizovací cena a také vyšší komfort při vyrovnání nerovností terénu. Nevýhodami těchto podložek jsou jejich náchylnost k mechanickému poškození, kdy může docházet k únikům vzduchu kolem ventilů, pracnost a časová náročnost při přípravě podložky k užití či při následném sbalení.

2.6.6 Samonafukovací karimatky

Tyto spací podložky mají spíše blíže k matracím, než ke klasickým spacím podložkám. Jsou kombinací pěnových a samonafukovacích spacích podložek. Vhodnost jejich použití je řízena dle jejich tloušťky. Je možné je využívat i v extrémních klimatických podmínkách. Mezi výhody samonafukovacích spacích podložek patří zejména vyšší izolační schopnosti, než mají ostatní zmíněné druhy spacích podložek. Další výhodou je také dobrá skladnost. Nevýhodou těchto spacích podložek je vyšší pořizovací cena. Samonafukovací karimatky jsou obvykle sestaveny ze dvou komponent. Zprvu je to výplň, která je tvořena polyuretanovou pěnou, za druhé se jedná o svrchní látku, jež je obvykle zhotovena z polyesteru.

2.7 Shrnutí

Je zarážející, že v dnešní době, kdy jsou outdoorové sporty na vzestupu, neexistuje právní úprava, která by standardizovala postupy výroby, testování, návod k použití a popřípadě by sjednotila značení pro vhodnost použití, životnost výrobku, jeho správnou údržbu zajišťující maximalizaci životnosti. V současnosti není na spacích podložkách žádným způsobem vyznačena životnost. V zájmu snazší orientace ve výrobcích by mělo být výrobci, dovozci, popřípadě distributory konkretizováno, pro jaké účely a do jakého klimatického prostředí jsou spací podložky určeny především.

Z provedeného průzkumu a dostupných informací o spacích podložkách byla sestavena tabulka, která napomáhá s orientací mezi jednotlivými druhy spacích podložek a běžnými kritérii hodnotitelů.

Legenda: ++ velmi dobře + dobře o uspokojivě - dostatečně -- špatně	cena	hmotnost	objem ve sbaleném stavu	izolační vlastnosti	vyrovnání terénu	manipulace a údržba	náchylnost k poškození
podložky s hliníkovou folií (alumatky)	++	++	++	--	--	++	o
podložky z ethylenvinylacetátu (pěnové matrace typu EVA)	o	+	-	o	o	+	++
Pěnové podložky z polyethylenu (pěnové matrace)	+	+	-	o	o	+	+
Nafukovací spací podložky	-	-	--	+	++	--	--
Samo-nafukovací spací podložky	--	o	+	++	++	-	-

Tabulka č. 1 – shrnutí užitečných vlastností spacích podložek.

2.8 Výroba spacích podložek, legislativa a testování

V rámci zpracování této diplomové práce byl osloven Ústřední inspektorát České obchodní inspekce – technické oddělení, společně s vybraným výrobcem spacích podložek společností *YATE spol. s r.o.* Bylo zjištěno, že v České republice je dle dostupných informací realizována výroba výše uvedených druhů spacích podložek s uvedeným materiálovým složením, a to dle jednotlivých druhů spacích podložek.

Samonafukovací podložky jsou vyráběny speciálními společnostmi, kterých je na světě pouze několik. Počty společností se pohybují v řádu jednotek. Prakticky se dá říci, že téměř veškeré společnosti prodávající samonafukovací spací podložky nejsou jejich výrobci a tyto podložky si nechávají vyrábět u specializovaných společností.

Výroba základního materiálu pro pěnové spací podložky je rovněž realizována pouze několika výrobci z celého světa. Výroba na území České republiky je většinou uskutečňována tak, že výrobce z České republiky nakoupí základní materiál u zahraničních společností a posléze z tohoto materiálu vyrobí hotový výrobek. Základní materiál je dodáván převážně ve formě návinů, přičemž délka návinu se obvykle pohybuje okolo 50 m. Materiál bývá také dodáván i ve formě desek, rozměry desky mohou být například 2000 mm x 1000 mm x 35 mm. Výrobci základních materiálů, tedy dodavatelé materiálů pro české výrobce, jsou předmětem firemních tajemství, a z tohoto důvodu jsou popisy výroby popsány ve zjednodušené verzi, jež byla poskytnuta výrobcem polotovarů.

Dále bylo průzkumem zjištěno, že v současné době není v České republice, ani v rámci Evropského společenství, stanoveno, jakým způsobem by měla být výroba spacích podložek realizována. Kromě toho chybí jakákoliv právní úprava, jež by specifikovala zkoušení spacích podložek, jejich značení atd.

Jedinou platnou právní úpravou je tedy zákon č. 102/2001 Sb., o obecné bezpečnosti výrobků, který se vztahuje na obecné požadavky bezpečnosti.

Účelem tohoto zákona je zajistit, v souladu s právem Evropského společenství, aby výrobky uváděné na trh nebo do oběhu, byly z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví pro spotřebitele bezpečné. Absence výrobních a zkušebních norem může být pro uživatele spacích podložek s ohledem na užití v extrémních podmínkách fatální. Na druhou stranu, i kdyby v České republice výše uvedené normy existovaly, nebylo by zaručeno, že by se jimi výrobci spacích podložek museli řídit, a to z toho důvodu, že státní normy nejsou přímo závazné, a je tedy na výrobcí samotném, zda se k normě přihlásí a bude ji využívat pro účely výrobního procesu.

Z dostupných informací bylo zjištěno, že výrobci obvykle postupují dle normy - certifikátu ČSN EN ISO 9001:2009, jež upravuje požadavky na systém managementu kvality, který mohou organizace používat pro interní aplikace, certifikaci nebo pro smluvní účely s dodavateli a zákazníky. Tato norma se využívá při certifikaci pro nezávislé posouzení schopnosti organizace plnit požadavky výše uvedené normy pro posouzení zákazníků, plnění požadavků předpisů, vlastních požadavků stanovených pro efektivní fungování všech procesů a neustálého zlepšování systému managementu kvality.

Testování spacích podložek probíhá dle zjištěných informací nejčastěji formou praktických experimentů. Výrobky jsou testovány způsobem hodnocení uživatelů, tedy v různých typech klimatického prostředí. Jak bylo uvedeno zástupcem společnosti *YATE spol. s r.o.*, testování bývá běžně prováděno ve vysokohorském prostředí, polárních oblastech, pouštích, deštných pralesech atd. U určitých druhů spacích podložek byly testy provedeny v rámci zkoumání tepelné vodivosti, hygieny a propustnosti vody. Jak již bylo zmíněno výše, bylo by tedy možné podotknout, že v České republice a Evropském společenství chybí ucelený systém testování spacích podložek, jenž by zajistil jednotnost a snadnou orientaci spotřebitele v daném sortimentu.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Výběr vzorků

V souladu se zadáním diplomové práce bylo opatřeno 14 vzorků samonafukovacích spacích podložek a výplní. Zadání diplomové práce ukládalo opatření 8 druhů vzorků různých pěnových a samonafukovacích podložek v rozmezí tloušťky 25 mm – 30 mm. Vzorky byly vybírány zejména s ohledem na rozmanitost nabízených druhů spacích podložek, jež byly v daném čase na českém trhu dostupné. Vzorky byly tedy zvoleny z těchto kategorií: spací podložky s hliníkovou folií, podložky z ethylenvinylacetátu, podložky z polyethylenu a podložky samonafukovací. V rámci prováděného výzkumu byly do vybraných testovaných vzorků začleněny i tři druhy polyuretanových, dále jen PUR, pěnových výplní perforovaných a jeden druh PUR pěnové výplně bez perforace. Dále byl v rámci experimentu proměřen jeden vzorek – část samonafukovací podložky.

3.1.1 Popis vzorků

V následujícím odstavci budou jednotlivě popsány vybrané druhy spacích podložek vybrané v souladu se zadáním této diplomové práce. Vzorky jsou zde uvedeny včetně fotodokumentace.

1) vzorek spací podložka

název: Karimate XPE

rozměry: 1800 mm x 500 mm x 8 mm

materiálové složení: Cross-linked polyethylen (XPE)

typ: pěnová spací podložka



Obrázek č. 6 – vzorek č. 1

vzorek spací podložka průřez

název: částečně nafukovací

rozměry: část spací podložky

materiálové složení: polyuretanová výplň typ 2, vnější materiál Polyester 240T Diamond checkers

typ: samonafukovací spací podložka



Obrázek č. 7 – vzorek č. 2

2) vzorek podložka

název: plážová podložka

rozměry: 1800 mm x 1000 mm x 3 mm

materiálové složení: polyethylenová pěna s potištěnou aluminiovou folií

typ: aluminiová podložka



Obrázek č. 8 – vzorek č. 3

3) vzorek spací podložka

název: Aluminiová podložka

rozměry: 1800 mm x 500 mm x 3 mm

materiálové složení: polyethylenová pěna s aluminiovou folií

typ: aluminiová podložka



Obrázek č. 9 – vzorek č. 4

4) vzorek spací podložka

název: Matrace EVA

rozměry: 1900 mm x 500 mm x 12 mm

materiálové složení: ethylenvinylacetát

typ: pěnová matrace



Obrázek č. 10 – vzorek č. 5

5) vzorek spací podložka

název: Rock Empire Standard

rozměry: 1830 mm x 500 mm x 25 mm

materiálové složení: polyuretanová výplň vnější materiál Polyester

typ: samonafukovací matrace



Obrázek č. 11 – vzorek č. 6

6) vzorek spací podložka

název: Quechua pěnová vrstvená

rozměry: 1900 mm x 500 mm x 9 mm

materiálové složení: polyethylenová podložka s aluminiovou folií

typ: pěnová spací podložka



Obrázek č. 12 – vzorek č. 7

7) vzorek spací podložka

název: Yate samonafukovací Camping – zelená

rozměry: 1830 mm x 510 mm x 25 mm

materiálové složení: polyuretanová výplň vnější materiál polyester 75 D

typ: samonafukovací spací podložka



Obrázek č. 13 – vzorek č. 8

8) vzorek spací podložka

název: Yate samonafukovací outdoor – modrá

rozměry: 1830 mm x 510 mm x 25 mm

materiálové složení: polyuretanová výplň vnější materiál polyester 75 D

typ: samonafukovací spací podložka



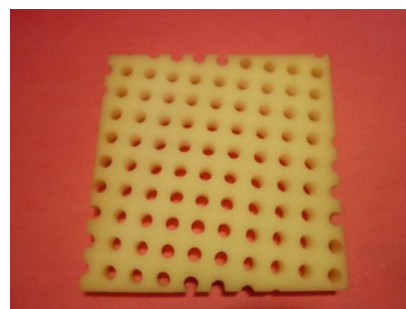
Obrázek č. 14 – vzorek č. 9

9) vzorek výplňový materiál

název: pěnová výplň typ:1

rozměry: 200 mm x 200 mm x 25 mm

materiálové složení: pěnový polyuretan profilovaný



Obrázek č. 15 – vzorek č. 10

10) vzorek výplňový materiál

název: pěnová výplň typ:2

rozměry: 200 mm x 200 mm x 25 mm

materiálové složení: pěnový polyuretan profilovaný



Obrázek č. 16 – vzorek č. 11

11) vzorek výplňový materiál

název: pěnová výplň typ:3

rozměry: 200 mm x 200 mm x 25 mm

materiálové složení: pěnový polyuretan profilovaný



Obrázek č. 17 – vzorek č. 12

12) vzorek výplňový materiál

název: pěnová výplň TY 2545

rozměry: 200 mm x 200 mm x 25 mm

materiálové složení: pěnový polyuretan



Obrázek č. 18 – vzorek č. 13

3.1.2 Příprava vzorků na měření a měření

Experiment, následná příprava vzorků a měření byly uskutečněny v prostorech Technické univerzity v Liberci. Nejdříve byla provedena fotodokumentace vzorků. Posléze byly jednotlivé vzorky spacích podložek rozčleněny do kategorií. U vzorků, jež to svou povahou vyžadovaly, bylo provedeno dohuštění spací podložky médiem do optimálního, běžně používaného stavu.

Měření bylo provedeno dle normy *CSN 12751 kap. 6*, na přístroji Alambeta, a to za přtlaku 1000 Pa a 200 Pa. Síla přtlaku byla vybrána zejména s ohledem na rozložení tlaku ve spacích podložkách, kdy měly být testovány užité, tedy tepelně-komfortní vlastnosti spacích podložek a jejich vliv na komfort uživatele. Přtlak 1000 Pa byl vybrán jako referenční hodnota, která představuje zatížení spací podložky uživatelem. V rámci experimentu bylo přikročeno k tomuto zjednodušení zejména z toho důvodu, že zkoumání rozložení tlaku by v konečném důsledku překračovalo rozpětí a možnosti této diplomové práce. Zmíněným tématem se zabývá např. článek v publikaci *STRUTEX* [4].

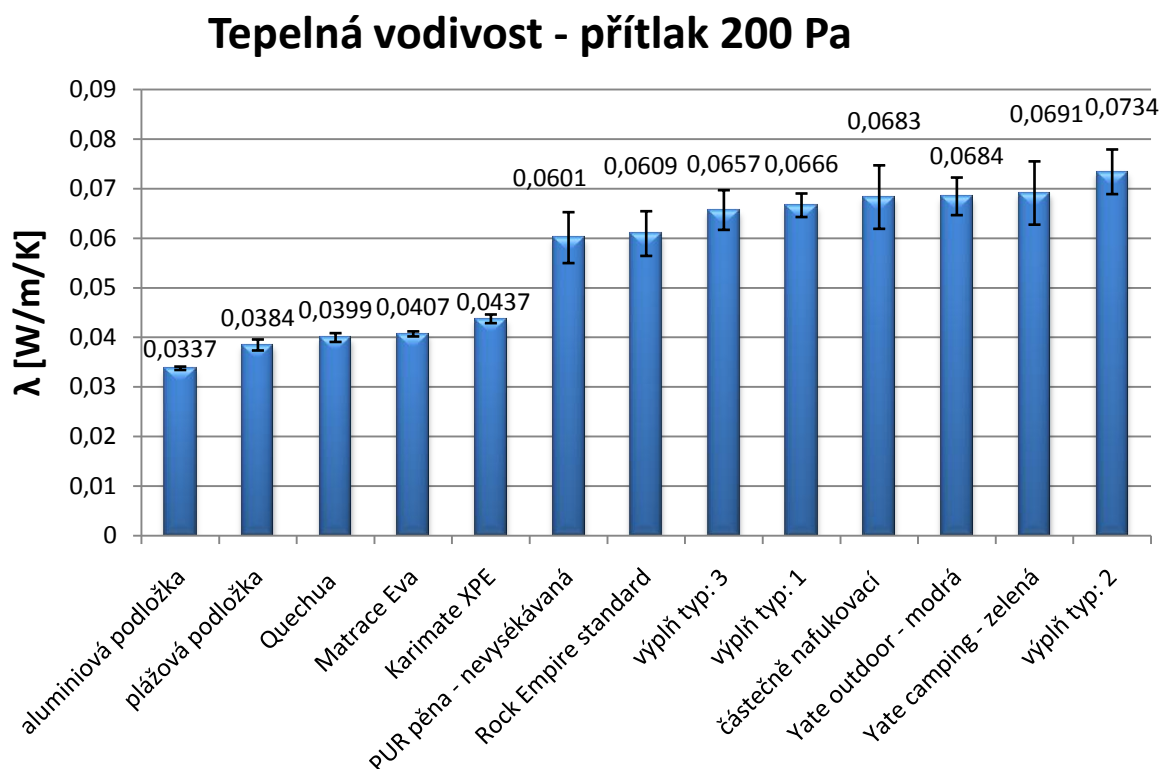
3.1.3 Naměřené hodnoty

V rámci této diplomové práce byly měření tepelně-komfortních vlastností při přtlaku 200 Pa a 1000 Pa získány hodnoty, které jsou uvedeny níže v tabulkách č. 2 a č. 3. Dále byly tyto hodnoty pro lepší orientaci graficky znázorněny. Ke grafickému znázornění byly, dle zadání diplomové práce, vybrány tyto vlastnosti: tepelný odpor, který reprezentuje hodnotící kritérium spotřebitele, tepelná vodivost reprezentující vlastnost výrobku, a v neposlední řadě tepelná jímavost, která reprezentuje tepelný omak.

Před samotným vyhodnocením je dobré brát na zřetel fakt, že měřené vzorky byly vybírány tak, aby obsáhly běžně prodávané spací podložky na českém trhu. Vzorky jsou tedy různorodé, s ohledem na skupiny vzorků spacích podložek zahrnutých do experimentu. Výběr obsahuje tyto druhy spacích podložek – aluminiové, pěnové, samonafukovací a výplňové materiály spacích podložek. V zájmu efektivního vyhodnocení naměřených parametrů musí být k tomuto faktu přihlédnuto a jednotlivé spací podložky musí být vyhodnocovány dle kategorií, do kterých patří.

Tabulka č. 2 – naměřené hodnoty přítlak 200 Pa

číslo vzorku	Název vzorku	Tepelná vodivost		Tepelná jímavost		Tepelný odpor		Tloušťka		Tepelný tok	
		λ [W/m/K]		b [W/s ^{1/2} /m ² /K]		r [m ² .K/W]		h [mm]		q [W.m ²]	
		x	cv	x	cv	x	cv	x	cv	x	cv
1	aluminiová podložka	0,03374	0,96	46,45	5,36	0,09031	3,47	3,048	4,15	0,1838	12,82
2	plážová podložka	0,03844	2,74	68,4	5,66	0,06382	10,39	2,46	13,18	0,3112	26,78
3	Karimate XPE	0,04372	1,90	43,92	8,65	0,2748	6,48	11,79	1,88	0,1561	18,69
4	Matrace Eva	0,04067	1,19	43,66	4,25	0,25	5,63	10,173	6,15	0,1472	25,96
5	Quechua	0,03994	2,1	38,64	21,01	0,2863	10,02	11,425	10,06	0,1071	34,81
6	Yate camping – zelená	0,06909	8,76	62,83	14,04	0,3328	13,04	22,83675	10,69	0,2799	39,12
7	Yate outdoor – modrá	0,06842	5,26	56,83	9,86	0,3595	8,63	24,51359	5,92	0,3267	42,37
8	Rock Empire	0,06091	7,02	53,76	8,61	0,4183	10,64	25,30753	4,41	0,3553	31,06
9	částečně nafukovací	0,06827	8,9	65,19	19,77	0,4067	8,81	27,54983	0,7	0,5376	16,92
10	výplň typ: 1	0,06662	3,38	27,34	20,86	0,3777	3,51	25,13252	0,24	0,1163	8,99
11	výplň typ: 2	0,07337	5,87	28,66	17,28	0,3275	5,85	23,94702	0,17	0,1168	14,62
12	výplň typ: 3	0,06566	5,78	30,9	20,67	0,3602	6,05	23,56813	0,22	0,1372	12,48
13	měření vzduchového válce 23mm	0,1362	0,86	10,88	11,14	0,1505	0,85	20,4967	0,31	0,0848	143,6
14	měření vzduchového válce 24 mm	0,1488	0,66	12,5	9,59	0,1512	0,65	22,4976	0,01	0,0491	5,93
15	měření vzduchového válce 25 mm	0,1565	0,96	11,98	21,9	0,1558	0,69	24,3813	0,5	0,0469	12,19
16	PUR pěna (neperforovaná)	0,060091	8,05	20,49091	27,65	0,461636	7,62	27,5869	0,23	0,119818	11,87



Graf č. 1 – tepelná vodivost přítlak 200 Pa

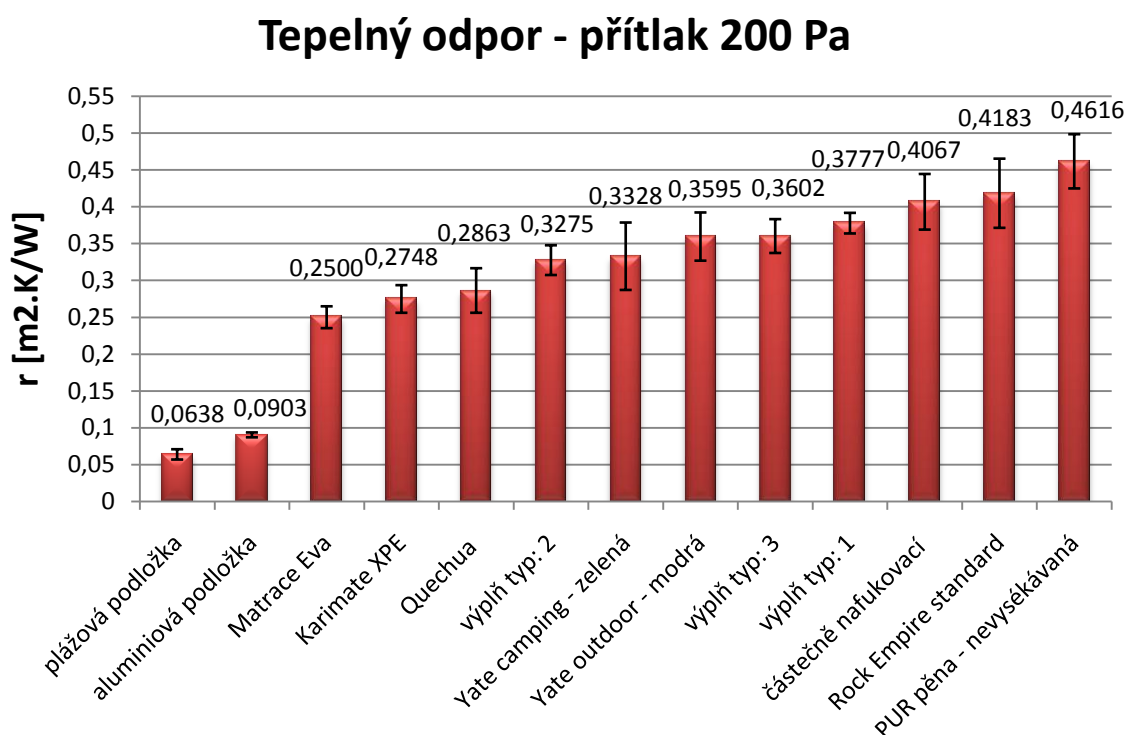
Kategorii aluminiumových spacích podložek je tedy reprezentována dvěma vzorky, jedná se o vzorek č. 1 – aluminiumová položka a vzorek č. 2 – plážová podložka. Jak je možné vidět na grafu č. 1, vyšší hodnoty tepelné vodivosti byly naměřeny pro vzorek č. 2, tedy pro plážovou podložku, avšak rozdíl v naměřených hodnotách není nijak markantní.

Dále jsou v kategorii pěnových spacích podložek zahrnuty vzorky č. 3 – Karimate XPE, č. 4 – Matrace EVA a č. 5 – spací podložka Quechua. V této kategorii byly nejvyšší hodnoty naměřeny u spací podložky – vzorek č. 4. a naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny u spací podložky vzorek č. 5. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,0399 do 0,0437 [W m⁻¹K⁻¹]. V této kategorii nebyl rovněž zaznamenán významný rozdíl v naměřených hodnotách a lze tedy usuzovat, že vlastnosti spacích podložek z této kategorie budou do jisté míry velice totožné.

Do kategorie samonafukovacích podložek jsou zařazeny 4 vzorky, a to vzorek č. 6 – Yate Camping – zelená, vzorek č. 7 – Yate Outdoor – modrá, vzorek č. 8 – Rock Empire a vzorek č. 9 – částečně nafukovací spací podložka. Jak je patrné z grafu č. 1, v této kategorii také nebyly zaznamenány rozdíly, které by poukazovaly na rozdílné vlastnosti

tepelné vodivosti jednotlivých spacích podložek. Hodnoty samotné se pohybovaly v rozmezí od 0,0609 do 0,0691 [$\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$].

V poslední hodnocené kategorii, výplňové materiály, do které byly zařazeny zbývající vzorky, byly naměřeny hodnoty v rozmezí od 0,0601 do 0,0734 [$\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$]. Nejvyšší hodnota byla naměřena u vzorku č. 11 – výplňový materiál č. 2 a naopak nejnižší hodnota tepelné vodivosti byla naměřena u vzorku č. 16 – PUR pěna nevysekávaná. Jak je možné vidět na grafu č. 1, hodnoty tepelné vodivosti, naměřené u vzorků začleněných do kategorie samonafukovací spací podložky a výplňový materiál, byly téměř shodné.



Graf č. 2 – tepelný odpor přítlak 200 Pa

Ve výše uvedeném grafu jsou znázorněny hodnoty tepelného odporu naměřené na přístroji Alambeta. Přítlak při měření byl roven 200 Pa. Jak je patrné z grafu č. 2, nejvyšší průměrná hodnota tepelného odporu, a to 0,4616 [$\text{W}^{-1} \text{K m}^2$], byla naměřena u vzorku č. 16 – PUR pěna nevysekávaná z kategorie výplňové materiály. Tento výplňový materiál byl tedy vyhodnocen jako nejlepší izolant, kterého je možno využít při konstrukci samonafukovacích karimatek. Nejhorším materiálem pro použití byl vyhodnocen

vzorek č. 11 – výplňový materiál č. 2, kdy tento materiál používaný pro konstrukci samonafukovacích spacích podložek měl nejnižší procento zaplnění základním materiálem, tedy polyuretanem. Výplňové materiály číslo vzorků č. 15 a č. 13 dosahovaly přibližně stejných hodnot tepelného odporu.

Měřením a následným hodnocením byl prokázán fakt, že čím více je konstrukce spací podložky, respektive výplňového materiálu perforována a jsou zde vytvořeny vzduchové kapsy, tím horší jsou pak izolační vlastnosti celku. Hodnoty zaplnění základním materiálem jsou uvedeny v tabulce č. 4.

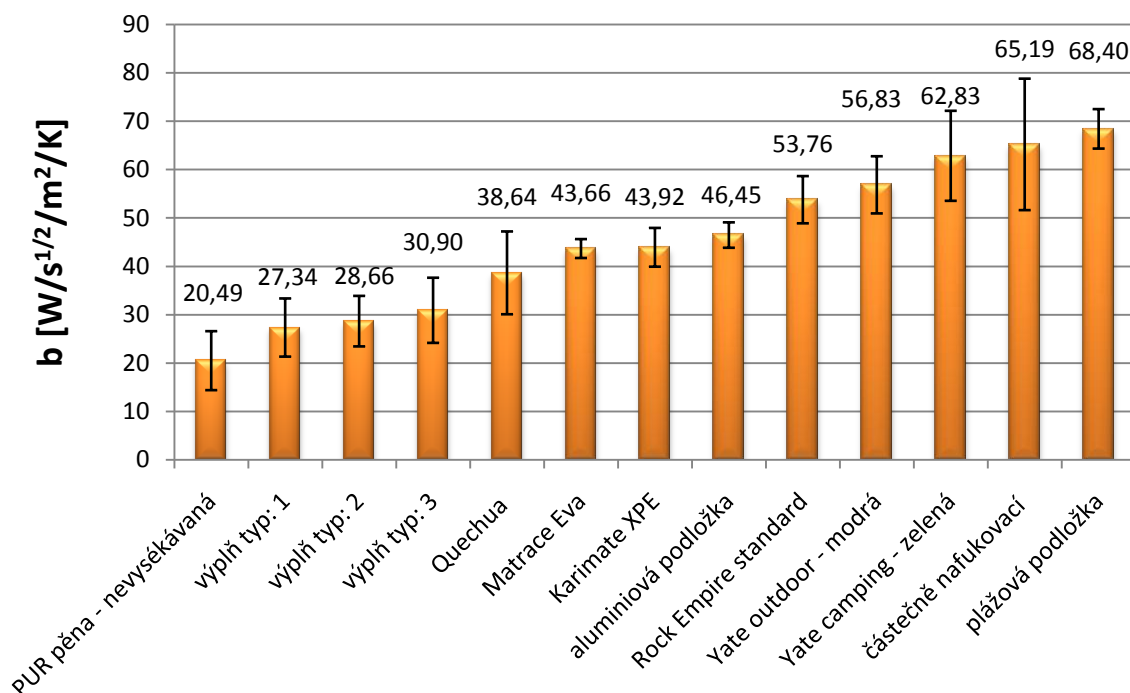
Dále bylo hodnocení provedeno u kategorie samonafukovacích spacích podložek, kdy nejvyšších hodnot dosahoval vzorek č. 8 – Rock Empire. Nejnižší naměřené hodnoty tepelného odporu vykazoval vzorek č. 6 – Yate Camping – modrá.

V kategorii pěnových podložek byla nejvyšší hodnota naměřena u vzorku č. 5 – Quechua a naopak nejnižší hodnota byla naměřena u pěnové spací podložky EVA. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,2500 do 0,2863 [$\text{W}^{-1} \text{K m}^2$].

V poslední kategorii aluminiových spacích podložek pak byly naměřeny hodnoty 0,0903 [$\text{W}^{-1} \text{K m}^2$] pro vzorek č. 1 a 0,0638 [$\text{W}^{-1} \text{K m}^2$] pro vzorek č. 2 – plážová podložka.

Z měření tepelného odporu je možné vyvodit závěr, že ze zkoumaných spacích podložek nejhůře izolují spací podložky z kategorie aluminiových spacích podložek a nejlepšími izolanty jsou spací podložky samonafukovací.

Tepelná jímavost - přítlak 200 Pa



Graf č. 3 – tepelná jímavost přítlak 200 Pa

Na grafu č. 3 jsou znázorněny hodnoty tepelné jímavosti, přičemž tento parametr charakterizuje tepelný omak. Zde platí, že čím je hodnota tepelné jímavosti nižší, tím více hodnotitel dle omaku pociťuje materiál jako teplejší.

Jak je tedy patrné z grafu č. 3, nejnižší hodnoty tepelné jímavosti byly naměřeny u vzorku č. 16 – PUR pěna neperforovaná. Je tedy možné zkonstatovat, že tento materiál bude hodnotitel posuzovat jako nejteplejší na omak. Nejnižší naměřená hodnota byla 20,49 [$W S^{1/2}/m^2K$], kdy tento vzorek byl začleněn do kategorie výplňové materiály. Naopak nejvyšší hodnota tepelné jímavosti byla naměřena u vzorku č. 2 – plážová podložka. Jednalo se o vzorek z kategorie aluminiové podložky. Hodnotitel tento vzorek pociťoval jako chladnější materiál.

Z grafu je možné vyčíst, že v jednotlivých kategoriích se naměřené hodnoty vzorků příliš nelišily, avšak rozdíly byly zaznamenány mezi jednotlivými kategoriemi, a to v následujícím pořadí. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v kategorii aluminiové podložky a samonafukovací karimatky, a to v rozmezí od 46,45 do 65,19 [$W S^{1/2}/m^2K$]. Hodnoty pěnových spacích podložek se pak pohybovaly v rozmezí od 38,64 do 43,92 [$W S^{1/2}/m^2K$].

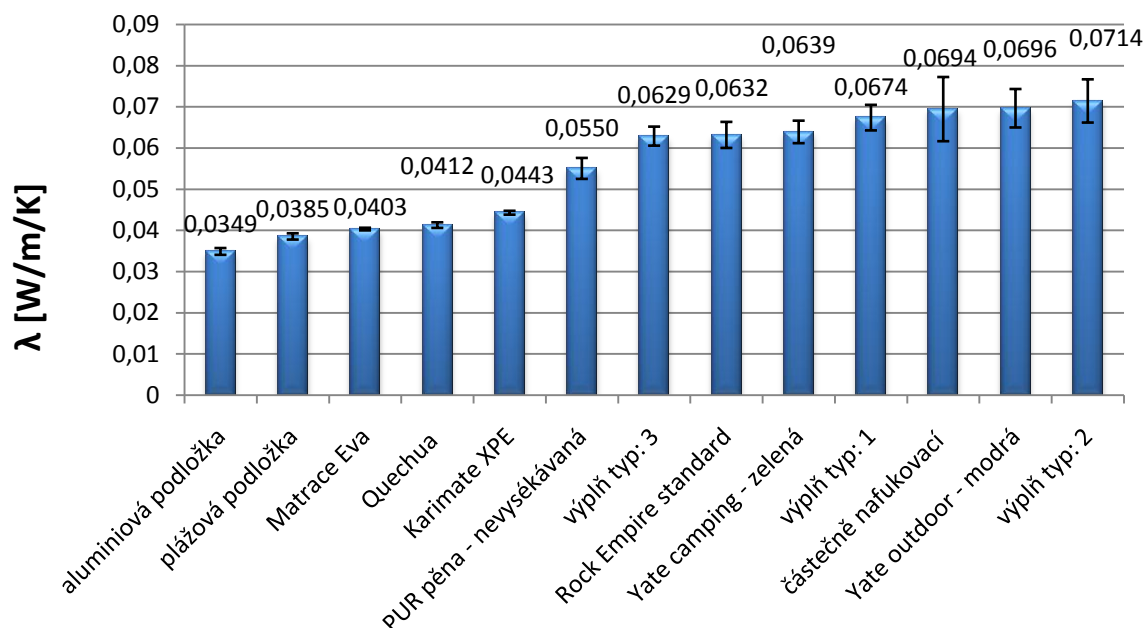
Nejnižší hodnoty byly naměřeny v kategorii výplňových materiálů. Hodnoty se pohybovaly od 20,49 do 30,90 [$\text{W S}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$].

Jak je patrné z výše uvedeného grafu, při vyhodnocování naměřených hodnot bylo zjištěno, že úprava a druh zvolené svrchní textilie, použité v konstrukčním systému spací podložky, ovlivňuje tepelný omak zaznamenaný hodnotitelem, přičemž je patrné, že výplňové materiály by byly hodnotitelem vnímány jako nejteplejší, avšak celek, tedy spací podložka včetně svrchní části, by naopak byl hodnotitelem vnímán jako nejchladnější.

Tabulka č. 3 – naměřené hodnoty přítlak 1000 Pa

číslo vzorku	Název vzorku	Tepelná vodivost		Tepelná jímavost		Tepelný odpor		Tloušťka		Tepelný tok	
		λ [W/m/K]		b [W/s ^{1/2} /m ² /K]		r [m ² .K/W]		h [mm]		q [W.m ²]	
		x	cv	x	cv	x	cv	x	cv	x	cv
1	aluminiová podložka	0,03374	0,96	46,45	5,36	0,09031	3,47	3,048	4,15	0,1838	12,82
2	plážová podložka	0,03844	2,74	68,4	5,66	0,06382	10,39	2,46	13,18	0,3112	26,78
3	Karimate XPE	0,04372	1,90	43,92	8,65	0,2748	6,48	11,79	1,88	0,1561	18,69
4	Matrace Eva	0,04067	1,19	43,66	4,25	0,25	5,63	10,173	6,15	0,1472	25,96
5	Quechua	0,03994	2,1	38,64	21,01	0,2863	10,02	11,425	10,06	0,1071	34,81
6	Yate Camping - zelená	0,06909	8,76	62,83	14,04	0,3328	13,04	22,83675	10,69	0,2799	39,12
7	Yate Outdoor - modrá	0,06842	5,26	56,83	9,86	0,3595	8,63	24,51359	5,92	0,3267	42,37
8	Rock Empire	0,06091	7,02	53,76	8,61	0,4183	10,64	25,30753	4,41	0,3553	31,06
9	částečně nafukovací	0,06827	8,9	65,19	19,77	0,4067	8,81	27,54983	0,7	0,5376	16,92
10	výplň typ: 1	0,06662	3,38	27,34	20,86	0,3777	3,51	25,13252	0,24	0,1163	8,99
11	výplň typ: 2	0,07337	5,87	28,66	17,28	0,3275	5,85	23,94702	0,17	0,1168	14,62
12	výplň typ: 3	0,06566	5,78	30,9	20,67	0,3602	6,05	23,56813	0,22	0,1372	12,48
13	měření vzduchového válce 21mm	0,1362	0,86	10,88	11,14	0,1505	0,85	20,4967	0,31	0,0848	143,6
14	měření vzduchového válce 23 mm	0,1488	0,66	12,5	9,59	0,1512	0,65	22,4976	0,01	0,0491	5,93
15	měření vzduchového válce 25 mm	0,1565	0,96	11,98	21,9	0,1558	0,69	24,3813	0,5	0,0469	12,19
16	PUR pěna (neperforovaná)	0,060091	8,05	20,49091	27,65	0,461636	7,62	27,5869	0,23	0,119818	11,87

Tepelná vodivost - přítlak 1000 Pa



Graf č. 4 – tepelná vodivost přítlak 1000 Pa

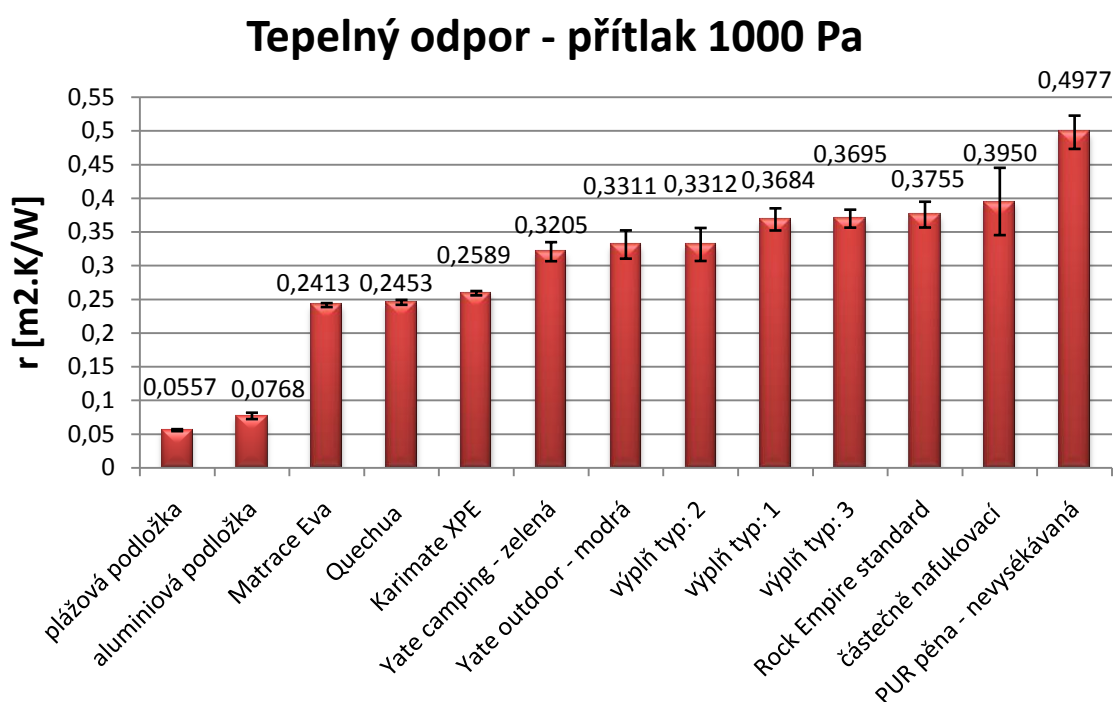
Na grafu č. 4 jsou znázorněny hodnoty tepelné vodivosti naměřené při přitlaku 1000 Pa. Nejnížší hodnoty byly naměřeny v kategorii aluminiových spacích podložek, kdy vzorek č. 1 dosahoval průměrných hodnot $0,0349 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$ a vzorek č. 2 dosahoval hodnot $0,0385 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$. Při porovnání lze říci, že naměřený rozdíl není nijak zásadní a tyto dvě spací podložky jsou z pohledu vedení tepla relativně podobné.

U kategorie pěnových spacích podložek se naměřené hodnoty tepelné vodivosti pohybovaly od $0,0403$ do $0,0443 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$. V této skupině tedy nejlépe vede teplo vzorek č. 3 a nejhůře č. 4. Dále bylo hodnocením zjištěno, že rozdíl naměřených hodnot nepředstavuje významnou odchylku, která by poukazovala na lepší tepelně-komfortní materiálové vlastnosti konkrétního měřeného vzorku.

Do kategorie samonafukovacích spacích podložek jsou zařazeny čtyři vzorky, a to vzorek č. 6 – Yate Camping – zelená, vzorek č. 7 – Yate Outdoor – modrá, vzorek č. 8 – Rock Empire Standart a vzorek č. 9 – částečně nafukovací spací podložka. Jak je patrné z grafu č. 4, v této kategorii také nebyly zaznamenány rozdíly, které by poukazovaly na rozdílné vlastnosti tepelné vodivosti jednotlivých spacích podložek. Hodnoty samotné se pohybovaly v rozmezí od $0,0632$ do $0,0694 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$.

V poslední kategorii spacích podložek byla nejvyšší hodnota tepelné vodivosti naměřena u vzorku č. 11 – výplňový materiál č. 2. Nejnížší hodnota byla naopak naměřena u vzorku č. 16 – polyuretanová pěna neperforovaná. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,0550 do 0,0714 [$\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$]. Stejně tak tomu bylo i u měření, které bylo prováděno při přitlaku 200 Pa.

Dále při porovnání grafů č. 3 a grafu č. 4 je možné pozorovat, že u většiny zkoumaných vzorků spolu s rostoucím přitlakem stoupá i hodnota tepelné vodivosti.



Graf č. 5 – tepelný odpor přitlak 1000 Pa

Na výše uvedeném grafu č. 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty tepelného odporu, kdy měření probíhalo při přitlaku 1000 Pa. Nejvyšší hodnota tepelného odporu byla naměřena u vzorku č. 16 – polyuretanová pěna neperforovaná. Průměrná naměřená hodnota byla 0,4977 [$\text{W}^{-1}\text{K m}^2$]. Naopak nejnižší hodnota tepelného odporu v kategorii výplňové materiály byla stanovena pro vzorek č. 11 – výplňový materiál č. 2. Průměrná naměřená hodnota pak byla 0,3312 [$\text{W}^{-1}\text{K m}^2$]. Zbylé dva vzorky z kategorie výplňové materiály dosahovaly průměrných naměřených hodnot od 0,03684 do 0,3695 [$\text{W}^{-1}\text{K m}^2$]. Opět jako tomu bylo u měření s přitlakem 200 Pa, bylo usouzeno, že naměřená hodnota tepelného

odporu souvisí s procentem zaplnění základním materiálem, přičemž lze konstatovat, že čím je procento zaplnění základním materiálem vyšší, tím hůře výplňový materiál vede teplo.

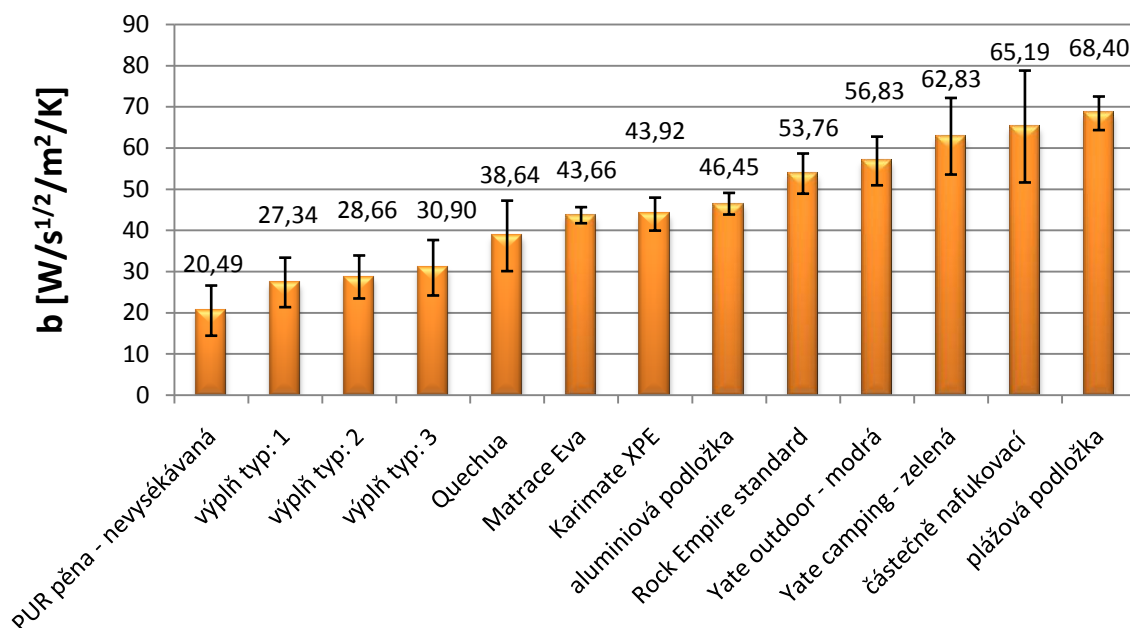
Dále byl v kategorii samonafukovacích spacích podložek, dle naměřených hodnot, jako nejlepší izolant vyhodnocen vzorek č. 9 – částečně samonafukovací spací podložka. Jako druhý nejlepší izolant byl vyhodnocen vzorek č. 8 – spací podložka Rock Empire standart. Avšak při měření vykazoval vzorek č. 8 stabilnější výsledky naměřených hodnot, kdy s ohledem na vypočítanou směrodatnou odchylku vzorku č. 9 a konfrontaci s měřením při 200 Pa, by dle předpokladu měl být v této kategorii vyhodnocen jako nejlepší izolant vzorek č. 8 – Rock Empire standard.

V kategorii pěnových spacích podložek dosahovaly nejvyšších naměřených hodnot tepelného odporu vzorky v následujícím pořadí: Karimate XPE průměrná hodnota $0,2589 \text{ [W}^{-1} \text{ K m}^2\text{]}$, spací podložka Quechua $0,2453 \text{ [W}^{-1} \text{ K m}^2\text{]}$ a spací podložka EVA $0,2413 \text{ [W}^{-1} \text{ K m}^2\text{]}$. V kategorii pěnových spacích podložek tedy nebyl zjištěn významný rozdíl mezi vzorky, který by poukazoval na výjimečnost některého z posuzovaných vzorků.

V poslední kategorii aluminiových podložek byly naměřeny průměrné hodnoty tepelného odporu $0,0768 \text{ [W}^{-1} \text{ K m}^2\text{]}$ pro vzorek č. 1 – aluminiová podložka a $0,0557 \text{ [W}^{-1} \text{ K m}^2\text{]}$ pro vzorek č. 2 – plážová podložka. Z naměřených hodnot tepelného odporu pak lze vyvodit stejný závěr jako při měření s přtlakem 200 Pa, tedy že nejhoršími izolanty jsou aluminiové spací podložky a naopak nejlepšími izolanty jsou spací podložky z kategorie samonafukovacích spacích podložek.

Dále bylo porovnáním grafů tepelného odporu zjištěno, že u převážné většiny vzorků s rostoucím přtlakem hodnota tepelného odporu klesá.

Tepelná jímavost - přítlak 1000 Pa



Graf č. 6 – tepelná jímavost přítlak 1000 Pa

Na grafu č. 6 jsou znázorněny průměrné naměřené hodnoty tepelné jímavosti. Měření těchto hodnot probíhalo při přitlaku 1000 Pa. Nejnížší hodnoty tepelné jímavosti byly naměřeny v kategorii výplňové materiály, kdy nejnížší průměrná hodnota byla naměřena pro vzorek č. 16 – polyuretanová pěna bez perforace, jednalo se o hodnotu 22,51 [W S^{1/2}/m²K]. Další průměrné hodnoty se v kategorii výplňových materiálů pohybovaly od 31,08 [W S^{1/2}/m²K] do 32,72 [W S^{1/2}/m²K]. Stejně jako při měření s přitlakem 200 Pa lze říci, že tento materiál bude hodnotitelem posuzován jako nejteplejší na omak.

Dále nejvyšší hodnoty tepelné jímavosti byly naměřeny u vzorků č. 5 – spací podložka Yate Camping – zelená a vzorku č. 2 – plážová podložka. Hodnotitel by tyto vzorky pocíťoval jako chladnější materiál.

Jak je patrné z grafu č. 6, v jednotlivých kategoriích se naměřené hodnoty vzorků příliš nelišily, avšak rozdíly byly zaznamenány mezi jednotlivými kategoriemi. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v kategorii aluminiových podložek a samonafukovacích karimatek, a to v rozmezí od 50,47 [W S^{1/2}/m²K] do 55,57 [W S^{1/2}/m²K].

Průměrné naměřené hodnoty pěnových spacích podložek byly v rozmezí od 47,18 [W S^{1/2}/m²K] do 53,79 [W S^{1/2}/m²K].

Při vyhodnocování naměřených hodnot bylo zjištěno, jak je viditelné ve výše uvedeném grafu, že úprava a druh zvolené svrchní textilie, použité v konstrukčním systému spací podložky, stejně tak, jak tomu bylo i při tlaku 200 Pa, ovlivňuje tepelný omak zaznamenaný hodnotitelem. Je zjevné, že výplňové materiály by byly hodnotitelem vnímány jako nejteplejší, avšak konstrukční celek, tedy spací podložka včetně svrchní části, by naopak byl hodnotitelem vnímán jako nejchladnější.

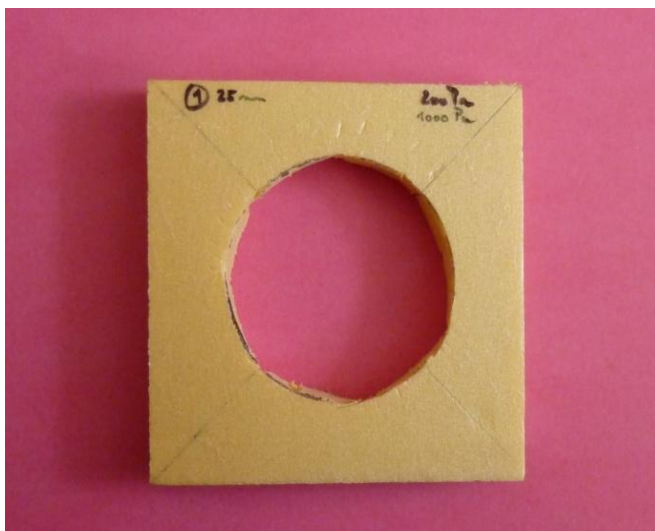
Dále bylo porovnáním grafů tepelné jímavosti při tlaku 200 Pa a 1000 Pa zjištěno, že u všech vzorků s rostoucím tlakem roste i hodnota tepelné jímavosti. Hodnotiteli by měl připadat kontaktní vjem s materiálem jako chladnější.

3.1.4 Porovnání extrémů polyuretanu a vzduchové mezery

V rámci ověření hodnot, jež byly získány měřením, a současně pro zhodnocení tepelně-komfortních vlastností výplní spacích podložek, které výrobci často perforují různými vybráními, a to takovým způsobem, že zaplnění výplňových materiálů vlastním polyuretanem se snižuje, byly k samotným vzorkům navíc začleněny jednak vzorky samotného polyuretanu, jednak vzorky simulující vzduchovou mezeru. Pomocí tohoto lze získat dva extrémy tepelně izolačních vlastností materiálů, a tedy ověřit, zda vzduchová mezera – neboli vybrání, má vliv na tepelně izolační vlastnosti spacích podložek.

Vzorek polyuretanové pěny byl zakoupen přímo u výrobce, jenž deklaroval, že se jedná o 100 % polyuretan s rozměry 2000 mm x 1000 mm x 25 mm. Konkrétní testovací vzorek je vyobrazen na obrázku č. 17. Dále byly pro potřeby experimentu vyrobeny vzorky simulující vzduchovou mezeru. Vzorky samotné byly vyrobeny z extrudovaného polystyrenu. Zmíněný materiál byl vybrán zejména pro své mimořádné tepelně izolační vlastnosti a současně pro velmi dobrou dostupnost. Z uvedeného tedy vyplývá, že pokus může být kdykoli kýmkoli zopakován.

Vzorky byly vyrobeny ve formátu 100 mm x 100 mm. Výška vzorků byla přizpůsobena výšce výplňového materiálu při hodnotách přítlaku 1000 Pa a 200 Pa. V konečné fázi bylo, s ohledem na experiment, jako extrémní hodnota, vzato měření vzorku vzduchové mezery o výšce 25 mm. Rozhodnutí bylo učiněno zejména z toho důvodu, že hodnota výšky byla deklarována výrobcem, a vzorek tedy nepotřeboval žádné další zvláštní úpravy výšky, a proto nedošlo k odchylce při výrobě vzorku. Současně hodnota 25 mm představuje nejvyšší dosažitelnou a naměřenou hodnotu tepelného odporu vzduchové mezery při nulovém zaplnění polyuretanem.



Obrázek č. 19 – příklad vzorku pro měření vzduchové mezery $d = 25 \text{ mm}$

Druhá hodnota extrému byla stanovena měřením vzorku polyuretanu se 100 % zaplněním, kdy bylo uvažováno, že hodnoty samotných výplňových materiálů spacích podložek se musí pohybovat v intervalu výše uvedených extrémních hodnot.

Dále byly v rámci experimentu vypočítány hodnoty zaplnění jednotlivých výplňových materiálů spacích podložek, které jsou uvedeny v následující tabulce.

číslo vzorku	Název vzorku	Zaplnění [%]
10	výplňový materiál typ: 1	80
11	výplňový materiál typ: 2	75
12	výplňový materiál typ: 3	81
15	měření vzduchového válce 25 mm	0
16	PUR pěna (neperforovaná)	100

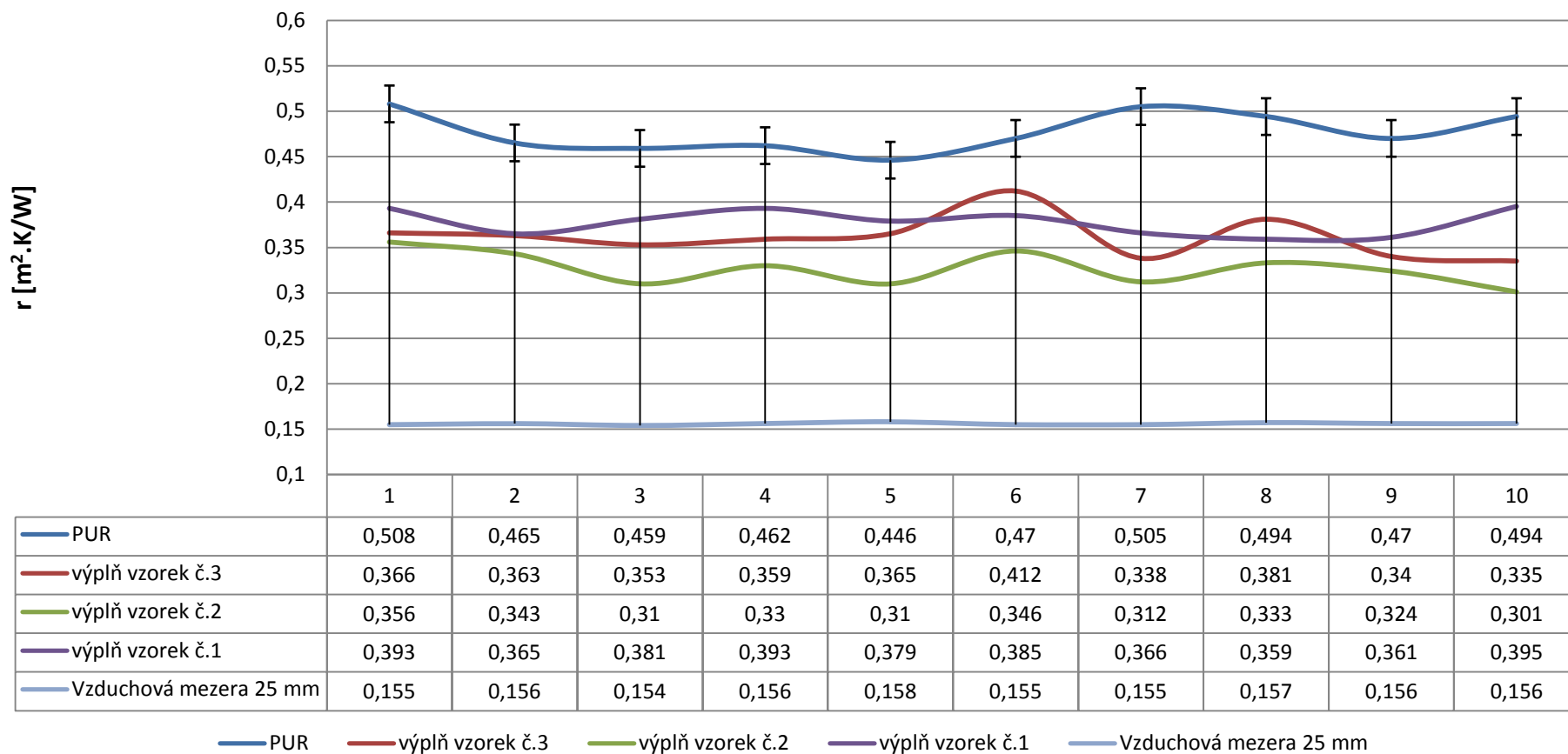
Tabulka č. 4 – hodnoty zaplnění

Výpočet zaplnění byl proveden za účelem ověření toho, do jaké míry jsou ovlivněny tepelně-komfortní vlastnosti výplňových materiálů spacích podložek rozsahem vybrání základního materiálu, v tomto případě polyuretanu. Pro lepší orientaci jsou výsledky měření uspořádány do tabulky a současně jsou výsledky měření graficky znázorněny, a to jak pro přítlak 200 Pa, tak pro přítlak 1000 Pa. Výpočty zaplnění jednotlivých druhů výplňových materiálů jsou přílohou této diplomové práce.

Vzorky samotných výplňových materiálů, které byly poskytnuty pro potřeby této diplomové práce, jsou uvedeny na obrázcích č. 15, č. 16 a č. 17.

Vybráním, neboli perforací, se rozumí vykrojení základního materiálu ve vertikální ose, kdy toto vybrání může mít různé geometrické tvary dle představ výrobce (kvádr, válec, nebo jiný mnohostěn). V konečném důsledku vznikne v základním materiálu mřížka, která plní funkce, jako jsou například: odlehčení karimatky, snížení objemu při sbalení spací podložky a v neposlední řadě prostup plnicího média do všech prostor spací podložky.

Tepelný odpor výplňového materiálu přítlak 200 Pa



Graf č. 7 – tepelný odpor výplňového materiálu přítlak 200 Pa

Jak je možné vidět na výše uvedeném grafu tepelného odporu při přítlaku 200 Pa, nejvyšší hodnoty tepelného odporu byly naměřeny u vzorku polyuretanu a naopak nejnižší hodnoty tepelného odporu byly naměřeny u vzorku vzduchové mezery. Hodnoty jednotlivých výplňových materiálů se pohybují v souladu s předpoklady, tedy v intervalu dvou extrémů. V případě prvního extrému se jedná o hodnoty naměřené se vzorkem polyuretan bez perforace. Druhá hodnota extrému je představována měřením vzorku vzduchové mezery o tloušťce 25 mm.

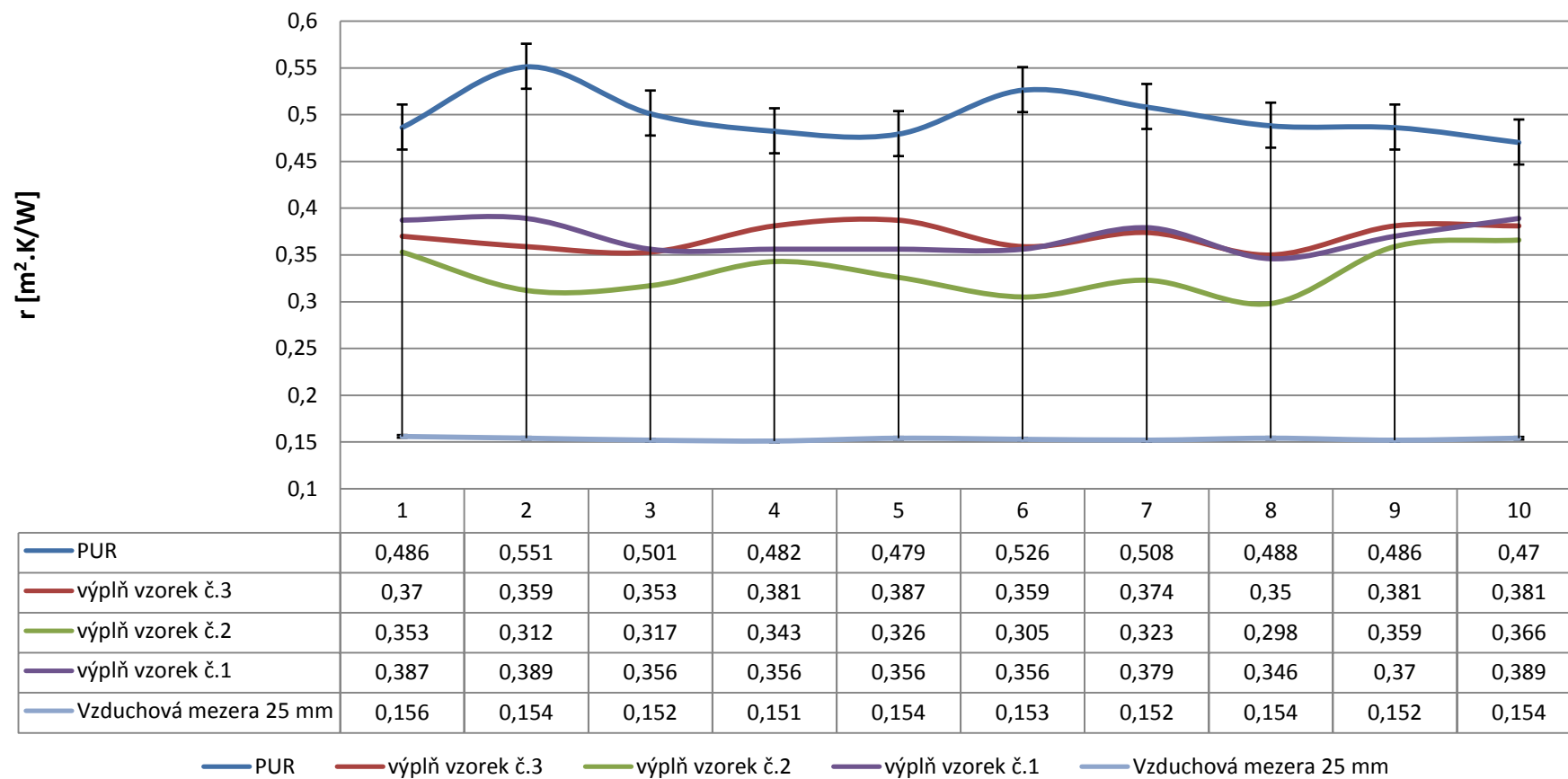
Výzkumem bylo dále zjištěno, že hodnoty tepelného odporu jednotlivých výplňových materiálů se od sebe vzájemně liší, a to v závislosti na procentu zaplnění, jež je uvedeno v tabulce č. 4. Z výplňových materiálů spacích podložek byl vyhodnocen jako nejhorší výplňový materiál č. 2, a to především s přihlédnutím k jeho izolačním schopnostem. U tohoto materiálu bylo výpočtem stanoveno i nejnižší procento zaplnění polyuretanem a nejvyšší procento zaplnění materiálu vzduchem.

Pro výplňové vzorky č. 1 a č. 3 byly hodnoty zaplnění polyuretanem téměř totožné, jak je uvedeno v tabulce č. 4. Současně bylo experimentem zjištěno, že i hodnoty tepelného odporu ukazující na izolační vlastnosti materiálu jsou téměř totožné a v některých případech se dokonce překrývají. Navzdory tomu jsou tyto hodnoty prokazatelně lepší, než jak je tomu u výplňového materiálu spacích podložek č. 2.

Experimentem bylo jasně prokázáno, že čím více je v základním výplňovém materiálu vybrání, a to bez ohledu na geometrický tvar těchto vybrání, do nichž proniká vzduch a tvoří tak izolační medium – vzduchovou kapsu, tím horší jsou izolační vlastnosti celku, potažmo spací podložky.

Na následujícím grafu č. 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty tepelného odporu výplňových materiálů spacích podložek. Měření bylo prováděno s přítlakem 1000 Pa, jenž reprezentuje referenční hodnotu stanovenou v této diplomové práci pro zatížení spací podložky uživatelem.

Tepelný odpor výplňových materiálů přítlak 1000 Pa



Graf č. 8 – tepelný odpor výplňového materiálu přítlak 1000 Pa

Naměřené hodnoty tepelného odporu s přítlakem 1000 Pa korespondovaly s hodnotami naměřenými při přítlaku 200 Pa. Jako horní extrém hodnoty tepelného odporu byl, dle dostupných informací získaných při měření, vyhodnocen vzorek polyuretanové pěny, která nebyla nijak perforována. Hodnoty naměřené pro vzorek vzduchové mezery byly rovněž vyhodnoceny jako dolní extrém, přičemž jak je možné vidět na obou dvou grafech, tyto hodnoty se pohybují okolo hodnoty $0,15 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, kdy rozdíl přítlaku mezi 200 Pa a 1000 Pa je do jisté míry nepatrný, než aby byla tato hodnota ovlivněna tlakem.

Hodnoty naměřené pro výplňový materiál spacích podložek typ č. 1, č. 2 a č. 3 se pohybují v rozmezí námi stanovených extrémních hodnot. Jak je patrné z grafu, můžeme pozorovat, že zaplnění testovacích vzorků rovněž koresponduje s hodnotami tepelného odporu naměřeného na přístroji Alambeta. Souvislost spočívá v závislosti, již je možné vyjádřit tak, že čím méně je testovací vzorek zaplněn základní složkou, tedy polyuretanem, tím má horší tepelně izolační vlastnosti. Toto tvrzení dokládají hodnoty vynesené v grafu č. 8, kdy je zjevné, že nejnižší hodnoty tepelného odporu byly naměřeny u vzorku výplňového materiálu č. 2, kdy tento vzorek, jak je patrné z tabulky zaplnění č. 4, dosahoval tři čtvrtinového zaplnění základním materiálem. Hodnoty naměřené pro výplňové vzorky č. 1 a č. 3 jsou téměř totožné, a to z toho důvodu, že zaplnění základním materiálem tedy polyuretanem, je téměř totožné, a to 80 % a 81 %.

Dále bylo uvažováno, že výplňový materiál tvoří primární část spací podložky, kdy svrchní část je implementována do výrobku z důvodu ochrany vnitřních částí, udržení plnicího média – vzduchu v prostorách spací podložky a také pro lepší komfortní vlastnosti uživatele.

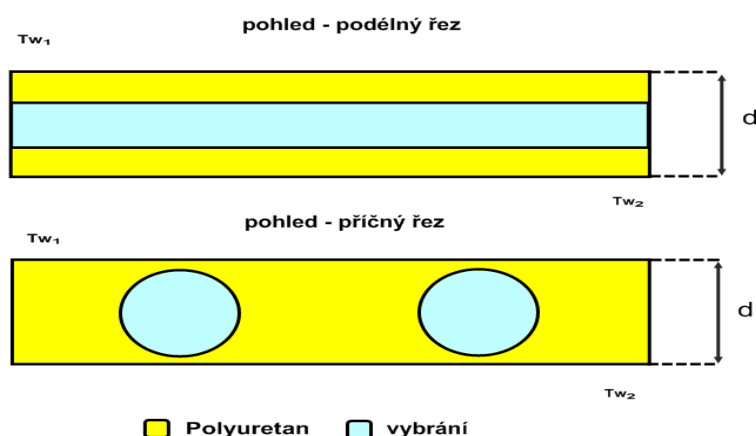
Jak bylo prokázáno měřením, vzduchové médium plní v textilním systému spací podložky převážně funkce spočívající v udržení tvaru a vyrovnávání terénních nerovností. Dále bylo zjištěno, že toto médium nahrazuje základní materiál s ohledem na skladnost a hmotnost spací podložky. A proto je na výrobci, aby zvážil, do jaké míry bude výplň spací podložky perforována, jak ovlivní toto vybrání tepelně izolační vlastnosti spací podložky. Pro běžného uživatele míra vybrání nehraje až tak velkou roli za předpokladu, že běžným uživatelem je myšlen běžný spotřebitel, který výrobek bude užívat rekreačně v běžných přírodních podmínkách, které jsou podobné klimatu a počasí v České republice. Pro

náročné spotřebitele, kteří by spací podložky užívali například k vysokohorské turistice, popřípadě k expedicím, by výrobce mohl přistoupit ke změnám, které by zajistily dostatečný tepelný komfort, který v některých případech hraničí s přežitím, tedy udržením uživatele při životě.

Z tohoto důvodu by bylo dobré se při návrhu spací podložky, nebo jejích částí, zamyslet nad faktem, do jaké míry ovlivnit odvod tepla od uživatele, respektive, jak co nejúčinnějším způsobem uživatele izolovat – ochránit jej před ztrátou tepla.

Řešení by mohlo spočívat v navržení spací podložky, respektive její výplně, protože výplň spací podložky je primárně funkční součástí. Tato výplň by nebyla perforována ve vertikálním směru ale ve směru horizontálním. Dále by tato vybrání kruhového průměru prostupovala celou délkou spací podložky, a to zejména kvůli rozvodu hustícího média, které zajišťuje jednak stabilní tloušťku spací podložky, jednak vyrovnaní terénu.

Řešení bylo zvoleno z toho důvodu, že při proudění vodorovnými mezerami závisí průběh pochodu na vzájemné poloze ohříváných a chladících povrchů a na jejich vzdálenosti, přičemž když je ohřívána plocha nahoře – případ spací podložky, pak cirkulace vzduchu nevzniká, a ohřátý vzduch se tedy koncentruje u ohřívané plochy nahoře – u uživatele a není odváděn a ochlazován cirkulačním dějem. Schematický příklad uspořádání spací podložky by mohl vypadat podobně jako na obrázku č. 20.



Obrázek č. 20 – návrh tvaru výplně spací podložky

3.2 Výpočty

V rámci experimentu a ověření správnosti naměřených hodnot byly vypracovány modely výpočtů a teoretické poznatky přenosových jevů v prostředí samonafukovacích spacích podložek. K teoretickému řešení je nutné fyzikální děje značně idealizovat a z tohoto důvodu se mohou výpočty výsledků značně lišit od skutečnosti. Přímé měření pak umožňuje ověření správnosti výpočtů. V technice prostředí jsou jevy většinou spojeny s přenosem hybnosti při proudění tekutin a s přenosem hmoty a v tomto případě s přenosem tepla.

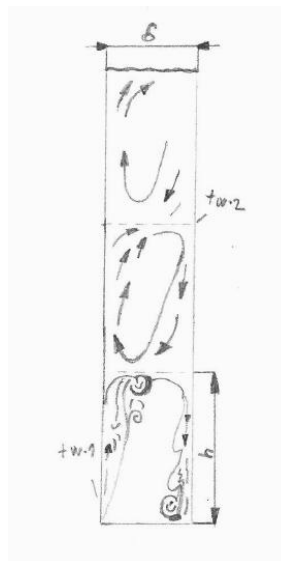
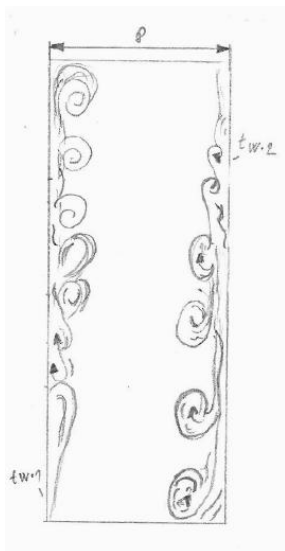
Základní podmínkou pro správnost měření a přenášení výsledků z modelu na praktické využití je dodržení podobnosti dějů. Za prvé se jedná o fyzikální podobnost, kdy model by měl být fyzikálně podobný dílu. Tento fakt zahrnuje podobnost – geometrickou (detaily a rozměry), mechanickou (rozložení sil), sdílení tepla (teplotní pole) a sdílení hmoty (pole koncentrací příměsí nebo v našem případě pole složek vzduchu).

Dále je potřebné dodržet analogii jevů, respektive matematickou podobnost, kdy různé fyzikální děje jsou analogické, jsou popsány stejnými rovnicemi a stejnými podmínkami jednoznačnosti.

3.2.1 Výpočet přenosu tepla konvekcí

Vzhledem k charakteru použití spacích podložek, a tedy přestupu tepla do omezeného prostoru – volnou konvekci v mezerách, je počítáno s vedením tepla korigovaným na konvekci. V první řadě je nutné si uvědomit, že při přirozené konvekci v malém prostoru vzduchové komory spací podložky nelze oddělit ohřívání a ochlazování nafukovacího média – vzduchu, podmínky proudění pro stoupající a klesající proudy, a proto jsou také podmínky přestupu tepla v tomto případě složité a závisí nejen na fyzikálních parametrech, ale také na tvaru a rozměru prostoru.

Ve svislých mezerách probíhá cirkulace vzduchu různými způsoby. Toto je odvislé od velikosti šířky mezery. Je-li šířka mezery dostatečně veliká, nepůsobí na sebe klesající a stoupající proudy a mají stejný tvar jako při proudění podél svislé stěny v neomezeném prostoru, viz. obrázek č. 18. Naopak, je-li šířka mezery malá, vzájemným působením klesajících a stoupajících proudů vzniknou takzvané vnitřní cirkulační obvody, viz obrázek č. 19. Výška vnitřních cirkulačních mezer je závislá zejména na šířce mezery, druhu tekutiny a intenzitě pochodu.



Obrázek č. 21 – proudění široká mezera

Obrázek č. 22 – vnitřní cirkulační obvody malá mezera

Poměr ekvivalentní tepelné vodivosti k tepelné vodivosti prostředí při její střední tepelné hodnotě je dle M. A. Michejeva charakterizován vztahem:

$$\frac{\lambda_{ekv}}{\lambda} = \epsilon_k \quad (7)$$

ϵ_k charakterizuje vliv konvekce a nazývá se součinitelem konvekce. Součinitel konvekce je bezrozměrný. Cirkulace tekutiny je podmíněna rozdílem měrných vah teplých a studených částic a závisí na kritériu $Gr \cdot Pr$,

$$\epsilon_k = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad (8)$$

kde c a n jsou empirické konstanty závislé na $Gr * Pr$, které se dají odvodit z tabulky

$Pr \cdot Gr$	c	n
$< 10^3$	1	0
$10^3 - 10^6$	0,105	0,3
$10^6 - 10^{10}$	0,4	0,2

Tabulka č. 5 – konstanty pro výpočet Rayleighova kritéria

Předchozí odstavce čerpány z [5]

Součin Grashofova a Prantlova čísla je též nazýván Rayleighovým kritériem – Ra . Rayleighovo kritérium svazuje určující podmínky pro přestup tepla při volné konvekci s vazbou mezi rychlostním a teplotním profilem v mezní vrstvě.

$$Ra = Gr * Pr = \frac{g \cdot L^3 \beta \cdot \Delta T}{\nu \cdot a} \quad (9)$$

Kde Prandtlovo kritérium srovnává dvě molekulární transportní veličiny, kinematickou viskozitu a teplotní vodivost. K přenosu hybnosti třením v proudící tekutině v důsledku gradientu rychlosti, k přenosu teplot v důsledku gradientu teplot. Prandtlovo číslo zobecňuje závislost teplotního a rychlostního pole.

$$Pr = \nu / a \quad (10)$$

Pro ideální plyny lze Prandtlovo číslo stanovit dle počtu atomů v molekule z kinetické teorie plynů, viz níže uvedená tabulka:

Počet atomů v molekule	Příklad plynu	Prandtlovo číslo
1	H	0,67
2	O ₂ , N ₂	0,73
3	O ₃ , H ₂ O	0,80
4 a více	CH ₄	1

Tabulka č. 6 – stanovení Prandtlého čísla

Hodnoty uvedené v tabulce jsou nezávislé na teplotě a tlaku. Pro reálné plyny je třeba získat hodnoty měřením obou látkových parametrů viskozity i teplotní vodivosti, které závisí na teplotě a tlaku. Pro potřeby této diplomové práce byly zjištěny hodnoty tekutiny vzduchu, které jsou uvedeny v následující tabulce.

t	ρ	$\lambda \cdot 10^2$	$a \cdot 10^6$	$\nu \cdot 10^6$	Pr
[°C]	[kg/m ³]	[W/(m.K)]	[m ² /s]	[m ² /s ⁻¹]	
-100	2,012	1,62	7,88	5,86	0,744
-50	1,561	2,04	12,9	9,35	0,727
-20	1,376	2,26	16,28	11,85	0,727
0	1,275	2,37	18,5	13,49	0,727
10	1,23	2,45	19,82	14,47	0,727
20	1,188	2,52	21	15,32	0,727
40	1,112	2,65	23,53	17,27	0,727
60	1,046	2,8	26,32	19,22	0,727
80	0,986	2,93	29,13	21,3	0,727
100	0,934	3,07	32,16	23,34	0,727

Tabulka č. 7 – vybrané hodnoty vzduchu pro výpočet přestupu tepla čerpáno z [6]

Dále je Grashofovo kritérium používáno k vyjádření cirkulace vlivem rozdílu teplot při volném proudění tekutiny. Grashofovo číslo je charakterizováno vztahem

$$Gr = \frac{\beta \Delta T g l^3}{\nu^2} \quad (11)$$

kde

- ν je kinematická viskozita kapaliny při střední teplotě mezi teplotou stěny a teplotou kapaliny. Vybrané hodnoty pro výpočet jsou uvedeny v tabulce č. 5.
- l je charakteristický rozměr. U těles svislých, šikmých a zakřivených představuje tato hodnota výšku tělesa ve směru působení gravitační síly, u vodorovných těles představuje tento parametr nejmenší vodorovný rozměr.
- g je gravitační konstanta, představuje tíhové zrychlení rovnající se $9,81 \text{ m/s}^2$.
- ΔT představuje absolutní hodnotu rozdílu teplot mezi stěnou a kapalinou.
- β je teplotní objemová roztažnost kapaliny při střední teplotě mezi teplotou stěny a teplotou kapaliny. Tyto hodnoty jsou dosazovány ve stupních Kelvina.

Předchozí odstavce čerpány z [5, 6, 7]

3.2.2 Výpočet přenosu tepla sáláním

V první řadě je důležité si uvědomit, že z povrchu těles o teplotě $T > 0 \text{ °K}$ se sdílí část tepelné energie sáláním. Přenosové jevy jsou pak vysvětleny na základě premisy, že nositelem této energie jsou elektromagnetické vlny. U tepelného záření jsou to vlny v délkách $\lambda = 0,3 \text{ až } 40 \text{ (až } 100) \text{ }\mu\text{m}$. Dále je tepelné záření pohlcené tělesem přeměno v teplo.

Sálání je složeno z pohlcování, odrazu a vlastního vyzařování. Lze tedy říci, že jde o vzájemné sálání sálajícího a osálaného tělesa.

Závislost tepelného toku přenášeného radiací na vlnové délce záření vyjadřuje Planckův zákon. Pro spektrální hustotu sálavého toku dokonale černého tělesa platí níže uvedený vztah. Výsledek je uvedený v jednotkách [W / m³].

$$E_{0,\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \quad (12)$$

$C_1 3,687 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^2$; $C_2 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ K.m}$

Integrací přes veškeré vlnové délky je dostán Stephan-Bolzmannův zákon, který je používán pro výpočet množství tepla přenášeného infračerveným zářením mezi různými objekty o různé teplotě. Stephan-Bolzmannův zákon je definován takto: hustota sálavého toku je úměrná čtvrté mocnině termodynamické teploty sálajícího tělesa. Tento zákon lze tedy použít pro účely diplomové práce k výpočtu tepelného toku q [W/m²] přenášeného infračerveným zářením mezi dvěma textilními vrstvami, které jsou v našem případě reprezentovány vrchní a spodní částí spací podložky. Následující vztah platí pro přenos tepla v prostupném prostředí mezi rovnoběžnými stěnami.

$$q = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (13)$$

Kde

T_1 a T_2 je termodynamická teplota

ε_1 ε_2 je emisivita. Emisivita absolutně černého tělesa má hodnotu $\varepsilon = 1$. Emisivita reálného tělesa může tedy nabývat hodnoty od 0 do 1.

σ je radiační konstanta, která odpovídá hodnotě $5,67 \cdot 10^{-8}$

Předchozí odstavce čerpány z [1, 2, 7, 9]

3.2.3 Konkrétní příklady výpočtů

Následující odstavce jsou vysvětlením teoretických výpočtů tepelných přenosových jevů v samonafukovacích spacích podložkách, které byly do této diplomové práce začleněny s ohledem na zadání diplomové práce a současně tyto výpočty do jisté míry prokazují správnost naměřených hodnot v laboratořích Technické univerzity v Liberci, kdy měření bylo prováděno na přístroji Alambeta. Příklad výpočtu je činěn pro vzorek č. 10 – výplňový materiál spacích podložek č. 1. Výpočty pro zbylé vzorky samonafukovacích karimatek byly činěny dle stejného postupu jako v případě příkladu pro vzorek č. 10. Souhrn výpočtů je uveden v tabulce č. 8.

3.2.3.1 Výpočet přenosu tepla konvekcí

Jako první krok bude popsáno stanovení teploty, jež byla zahrnuta ve výpočtech tepelné vodivosti spacích podložek. Teplota samotná má specifické postavení při práci s kritérii. Při určování sdílení tepla se ve většině případů nejedná o konkrétní stupeň teploty, ale o teplotní rozdíl. Toto je do jisté míry odvozeno z faktu, že teplota je smluvní hodnota, která představuje rozdíl od 0° C, nebo 0 ° K. $-273,15\text{ °C} = 0\text{ °K}$.

Pro účely této diplomové práce bylo rozmezí teplot stanoveno na -13 °C a 33 °C . Teplota -13 °C představuje teplotu zemského povrchu/teplotu vzduchu a teplota 33 °C představuje průměrnou teplotu lidské kůže, potažmo horní stěny spací podložky.

Výpočtem pak vznikne střední teplota mezní vrstvy přepočtená na stupně Kelvina

$$t_f = (t_s + t_t) / 2 = [-13 + 33] / 2 = \underline{10\text{ °C} = 283,15\text{ °K}}$$

$$\beta = 1 / T = 1 / 283,15$$

a rozdíl teplot

$$\delta t = (t_s - t_t) = (-13 + 33) = \underline{20\text{ °C} = 293,15\text{ °K}}$$

Po stanovení střední teploty a rozdílu teplot bylo vhodné vypočítat přenos tepla konvekcí. Výpočet byl proveden dle výše uvedeného vzorce č. 9. Respektive bylo vypočteno Grashofovo podobnostní kritérium následujícím postupem:

$$Gr = \frac{3,532 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 9,81 \cdot 1,52 \cdot 10^{-5}}{2,17 \cdot 10^{-10}} = 48542,12$$

Následně bylo vypočteno Prandtlovo číslo dle vzorce č. 10 následujícím postupem:

$$Pr = \frac{1,447 \cdot 10^{-5}}{1,982 \cdot 10^{-5}} = 0,73$$

Hodnotu Prandtlova čísla lze stanovit rovněž pomocí tabulky č. 5, dle počtu atomů v molekule z kinetické teorie plynů. Dalším krokem byl výpočet Rayleighova kritéria Ra a následně výpočet součinitele konvekce ϵk .

$$Ra = 48542,12 \cdot 0,73 = 35435,75$$

$$\epsilon k = 0,105 \cdot Ra^{0,3} = 2,432$$

V závěru byla za pomoci vzorce č. 7 vypočtena ekvivalentní tepelná vodivost.

$$\lambda_{ekv} = \lambda \cdot \epsilon k = 0,026 \cdot 2,432 = 0,06324 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$$

3.2.3.2 Výpočet přenosu tepla sáláním

Pro výpočet tepelného toku sáláním v textilním systému samonafukovacích karimatek byly dosazeny hodnoty do vzorce č. 13, kdy hodnoty dosazené do níže uvedeného vzorce reprezentují parametry vzorku č. 10 výplňový materiál spacích podložek č. 1.

$$q = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (253,15^4 - 306,15^4)}{[6,25 - 1]} = 50,523 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

V další fázi byl proveden výpočet tepelného odporu, dle níže uvedeného vzorce č. 17.

$$R_{rad} = \frac{\Delta t}{q} \quad (14)$$

$$R_{rad} = \frac{20}{50,523} = 0,03958 \text{ [W}^{-1}\text{K m}^2\text{]}$$

V neposlední řadě bylo nutno z hodnoty tepelného odporu vypočíst hodnotu λ_{rad} , kdy k tomuto výpočtu byl použit vzorec č. 18 a hodnota byla vypočtena následujícím postupem.

$$\lambda_{rad} = \frac{h}{R_{rad}} \quad (15)$$

$$\lambda_{rad} = \frac{0,024776}{0,3958} = 0,06256 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

3.2.3.3 Přenos tepla vedením

Pro další výpočty byla jako referenční hodnota přenosu tepla vedením zvolena naměřená hodnota tepelné vodivosti polyuretanové pěny. Tato hodnota byla zvolena zejména s ohledem na složitost výpočtu z hlediska struktury zkoumaného materiálu, tedy polyuretanové pěny. Hodnota naměřená na přístroji Alambeta za přítlaču 1000 Pa pro neperforovanou polyuretanovou pěnu o výšce deklarované výrobcem 25 mm je $\lambda = 0,0550 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$; naměřená hodnota tepelného odporu je $r = 0,4877 \text{ [W}^{-1}\text{ K m}^2\text{]}$.

3.2.3.4 Další postup výpočtu příkladu

Dále bylo v rámci výzkumu uvažováno, že při aplikaci výpočtu na dílo, je nutné si uvědomit rozložení dějů v textilním systému samonafukovacích spacích podložek, kdy v části, která je zaplněna polyuretanem, je tepelná energie sdílena vedením, zatímco v místech vybrání ve spacích podložkách je přenos tepla realizován konvekcí a radiací. Jak bylo zjištěno, výše uvedené hodnoty se musí upravit, aby poměrově odpovídaly k proporcím díla – samonafukovací spací podložky.

Výpočet celkové tepelné vodivosti bude pak dle předpokladu realizován dle vzorce č. 16.

$$\lambda_{celk} = (Z \cdot \lambda_{ved}) + ((1 - Z) \cdot (\lambda_{konv} + \lambda_{rad})) \quad (16)$$

Pro konkrétní příklad výpočtu přestupu tepla ve vzorku č. 10 – výplňový materiál spací podložky č. 1 jsou hodnoty dosazeny následujícím způsobem:

$$\lambda_{celk} = (0,8 \cdot 0,0550) + ((0,2) \cdot (0,06326 + 0,06256)) = 0,0692 \text{ [W m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

Z, představuje hodnotu zaplnění základním materiálem. Celková hodnota tepelné vodivosti je tedy vypočítána jako součin hodnoty zaplnění a hodnoty tepelné vodivosti pro přenos

tepla vedením. K tomuto je nutné následně přičíst součet tepelné vodivosti přenosu tepla konvekcí a přenosu tepla radiací, kdy sečtené hodnoty přenosu tepla konvekcí a radiací je nutné vynásobit procentem, jež představuje prostor ve spací podložce vyplněný nafukovacím médiem – vzduchem, kde první část vzorce představuje přenos tepla v pevném materiálu, v tomto případě polyuretanu, a druhá část vzorce představuje přenos tepla ve vzduchových mezerách, kde je přenos tepla realizován konvekcí a radiací.

Teoreticky stanovená hodnota přibližně odpovídá hodnotě stanovené experimentálně získané měřením na přístroji Alambeta. Porovnání teoreticky stanovených hodnot a hodnot získaných experimentální cestou je uvedeno v tabulce č. 8.

Dále bylo pro potřeby stanovení teoretické hodnoty sdílení tepla přistoupeno k úpravě vzorce č. 16, a to z toho důvodu, že u vzduchových mezer je přenos tepla realizován prostřednictvím konvekce a sálání, kdy předpokladem je, že k přenosu tepla konvekcí dochází mezi stěnou spací podložky a plnicím médiem a k sálání dochází mezi stěnami spací podložky. Tyto dva jevy vedení tepla probíhají nezávisle na sobě. K sálání může docházet jen v průteplivé tekutině, kterou je například vzduch. Přenos tepla vedením zde není realizován.

vzorec pro výpočet přestupu tepla v mezeře

$$\lambda_{celk} = \lambda_{konv} + \lambda_{rad} \quad (17)$$

Jako příklad výpočtu přenosu tepla ve vzduchové mezeře byl zvolen vzorek č. 15 – vzduchový válec mezera 25 mm. Dosazením do vzorce dostaneme:

$$\lambda_{celk} = 0,06175 + 0,06255 = 0,1243$$

kdy zde teoreticky stanovená hodnota téměř odpovídá experimentální hodnotě zjištěné při experimentálním měření na přístroji Alambeta při přítlaku 1000 Pa. Výpočet, jak je patrné,

ukazuje, že vedení tepelné energie sáláním u přirozené konvekce je významné a nelze jej zanedbat. Porovnání teoretických výpočtů tepelné vodivosti a tepelného odporu je uvedeno v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8 – porovnání vypočtených a naměřených tepelně – izolačních hodnot
zhodnocení

číslo vzorku	Název vzorku	Tepelná vodivost		Tepelný odpor		Tloušťka	Zaplnění PUR
		λ [W/m/K]		r [m ² .K/W]		h [mm]	%
		naměřená	teoretická	naměřený	Teoretický	měřená	Výpočet
6	Yate – zelená	0,0639	0,0672	0,3205	0,3043	20,4429	20
7	Yate outdoor – modrá	0,0696	0,0683	0,3311	0,3360	22,9671	20
8	Rock Empire	0,0632	0,0687	0,3755	0,3446	23,6605	20
9	částečně nafukovací	0,0694	0,0702	0,3950	0,3855	27,0761	25
10	výplň typ: 1	0,0674	0,0692	0,3684	0,3580	24,7660	20
11	výplň typ: 2	0,0714	0,0720	0,3312	0,3268	23,5325	25
12	výplň typ: 3	0,0629	0,0678	0,3695	0,3423	23,1994	21
13	měření vzduchového válce 23 mm	0,1387	0,1152	0,1457	0,1754	20,2072	0
14	měření vzduchového válce 24 mm	0,1498	0,1200	0,1486	0,1855	22,2588	0
15	měření vzduchového válce 25 mm	0,1574	0,1243	0,1532	0,1940	24,1118	0
16	PUR pěna (neperforovaná)	0,0550	-	0,4977	-	27,3300	100

4. ZÁVĚR

Jedním z cílů této diplomové práce bylo zmapování aktuálního stavu poznání vědy a techniky o problematice tepelně-komfortních vlastností spacích podložek. V rámci této činnosti byla prostudována dostupná literatura: knihy a odborné publikace, internetové články a bylo zjištěno, že daným tématem se autoři zabývali a zabývají jen povrchně. Články neobsahovaly žádné relevantní informace o tepelně-komfortních vlastnostech spacích podložek a jen v malé míře se zabíraly materiálovým složením spacích podložek, popřípadě materiálovým složením podložek, nebo vhodností jejich použití. I z tohoto důvodu byli osloveni výrobci spacích podložek společně s orgány dozoru nad trhem, a to především pro zajištění komplexnosti nashromážděných poznatků.

Z informací získaných od výrobců spacích podložek byly získány informace, které pomohly rozčlenit jednotlivé spací podložky do kategorií dle jejich vlastností. Tento krok byl učiněn zejména s ohledem na uživatele, kdy navrhovaná začlenění by jistě v mnohém pomohla s lepší orientací spotřebitele na trhu se sportovním vybavením. Při komunikaci s orgány dozoru bylo zjištěno, že pro výrobu spacích podložek v České republice neexistují žádné normy ani nařízení vlády, která by chránila oprávněný zájem spotřebitele, jak je tomu u stanovených výrobků. V České republice dokonce ani nejsou stanoveny žádné postupy testování těchto spacích podložek, kupříkladu na rozdíl od spacích pytlů, přičemž na spací podložce rovněž v mnohých případech závisí zdraví uživatele.

Dále bylo v rámci diplomové práce vybráno celkem devět vzorků spacích podložek a tři vzorky výplňových materiálů spacích podložek. Zvolené vzorky byly proměřeny v laboratořích Technické univerzity v Liberci na přístroji Alambeta. Měřením byly získány hodnoty fyzikálních veličin: tepelná vodivost, tepelný odpor, tepelná jímavost, a to při dvou hladinách přitlaku 200 Pa a 1000 Pa. Jako referenční hladina přitlaku pro hodnocení byl zvolen přitlak 1000 Pa, který do jisté míry nejbližší odpovídá zatížení spací podložky uživatelem.

V rámci dalšího postupu bylo uvažováno, že by vzhledem ke struktuře výplňového materiálu spacích samonafukovacích podložek, který je tvořen perforovaným

polyuretanem, u něhož jsou vybrání tvořena vzduchovými kapsami, bylo vhodné začlenit další vzorky, a to z důvodu stanovení extrémních hodnot pro posouzení toho, zda vybrání mají vliv na tepelně-komfortní vlastnosti spacích podložek. Konkrétně se jednalo o materiály: polyuretan kompaktní bez perforace a vzorek, který by reprezentoval vzduchový sloupec o výšce d výplňového materiálu. Z výše uvedeného důvodu byly vzorky polyuretanu a vzduchové mezery rovněž začleněny do měření a experimentu. Měřením bylo zjištěno, že čím více je zkoumaný vzorek výplňového materiálu spacích podložek zaplněn základním materiálem, tím je jeho schopnost vést teplo menší. Z toho vyplývá, že je lepším izolantem.

Teoretické i praktické poznatky o sdílení tepla v systému spacích podložek dále ukázaly, že velikost mezery a její orientace v textilním systému jsou určující pro tepelně-izolační vlastnosti. Z konstrukce spacích podložek, jež jsou běžně perforovány ve vertikálním směru, bylo pro zlepšení těchto vlastností navrženo orientovat vybrání ve spacích podložkách horizontálně, a to ve směru, který je rovnoběžný s ležícím uživatelem. Tento návrh byl učiněn s ohledem na zamezení vzniku cirkulace, která je zde brána jako nežádoucí faktor.

Dále bylo uvažováno nad tím, z jakého důvodu výrobci základní materiál perforují, jestliže výzkumem bylo prokázáno, že čím více je materiál perforován, tím hůře izoluje. Bylo odvozeno, že zmíněná vybrání jsou ve spacích podložkách vytvářena zejména z důvodu co nejmenší objemnosti a nižší hmotnosti spací podložky ve sbaleném stavu. Posléze bylo uvažováno, že vybrání by mohla sloužit k odvodu vlhkosti směrem od uživatele, avšak tato teorie je nepravděpodobná vzhledem k používaným svrchním materiálům, které jsou ve většině případů neprostupné, a to jak pro vzduch, tak pro vodní páry. Možností, jak tento problém vyřešit, by bylo použití membrány, jež by odváděla kapalnou vlhkost a vybráním by ji transportovala od uživatele, přičemž plnicí medium – vzduch by bylo uzavřeno ve spací podložce. Dalším řešením by bylo použití povlaku na spací podložku, který by byl tvořen chytrou textilií, která by vlhkost rozvedla do větší plochy, a tím by zajistila lepší odpařování. Tato úvaha již přesahovala možnosti této diplomové práce, avšak mohla by být zajímavým námětem pro práci další.

V závěru diplomové práce byla experimentálně získaná data porovnána s hodnotami stanovenými výpočtem. Bylo zjištěno, že vypočítané hodnoty jsou téměř totožné s hodnotami naměřenými, přičemž tento fakt potvrzuje správnost provedených výpočtů.

Závěrem lze zkonstatovat, že hodnocení tepelně-komfortních vlastností jednotlivých druhů spacích podložek poukázalo na fakt, že není možné jednoznačně říci, která podložka je nejuniverzálnější a nejlepší. Podložky, které se jevily být nejlepšími izolanty, byly ve sbaleném stavu objemnější, těžší a choulostivější na poškození, zatímco podložky, které hůře izolovaly teplo, byly ve sbaleném stavu méně objemné, lehčí a při používání nemusel být kladen důraz na speciální zacházení s výrobkem s ohledem na předcházení poškození.

K výše uvedenému lze říci, že v současné době je zcela na spotřebiteli, aby zvolil, jaký typ spací podložky zvolí. Toto rozhodnutí musí spotřebitel učinit pouze na základě svého uvážení, přičemž rozhodovací schopnosti budou do jisté míry ovlivněny nedostatkem informací. Proto je žádoucí, aby byl zaveden a sjednocen systém značení spacích podložek, jež by sloužil lepší orientaci spotřebitele na trhu. Díky tomuto systému by tedy bylo zřejmé, jaká podložka je využitelná v konkrétním prostředí. Tímto by bylo možné předcházet možným nežádoucím účinkům na zdraví spotřebitele.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HES, Luboš – SLUKA, Petr. Úvod do komfortu textilií. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0 (brož.).
- [2] HOTTEL, Hoyt C – SAROFIM, Adel F. Přenos tepla zářením. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 499 s. Redakce báňské a strojírenské literatury.
- [3] KUNEŠ, Josef – HONNER, Milan – VESELÝ, Zdeněk. Tepelné bariéry. Vyd 1. Praha: Academia, 2003. 299 s. ISBN 80-200-1218-4.
- [4] HANUŠ, Jaroslav – NOVÁK, Ondřej. Rozložení kontaktního tlaku mezi pacientem a textilní podložkou. In Strutex. ISBN 80-7083-549-4, 2001, [Č.] 8, s. 287-294.
- [5] MICHEJEV, Michail Aleksandrovič. Základy sdílení tepla. 2. upr. vyd. Praha : SNTL, 1953. 382 s. Řada teoretické literatury.
- [6] TZB info: tabulky a výpočty. [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty>
- [7] HEMZAL, KAREL. PŘENOSOVÉ JEVY V TECHNICE PROSTŘEDÍ. VYD. 1. V PRAZE: NAKLADATELSTVÍ ČVUT, 2007 DOTISK. [89] S. ISBN 978-80-01-02924-4.
- [8] Svět outdooru: karimatky. In: [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?106888-karimatky>
- [9] PAVELEK, M. Termomechanika: 19. Přenos tepla zářením [online]. 2006 [cit. 2012205209]. Dostupné z: http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/19_Zareni.pd
- [10] KUTATELADZE, S. S. - BORIŠANSKIJ, V. M. Příručka sdílení tepla. 1. vyd. Praha: SNTL, 1962. 527 s. Redakce teoretické literatury.

6. SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK Č. 1 – PŘENOS TEPLA VEDENÍM ČERPÁNO Z [1].....	18
OBRÁZEK Č. 2 – PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM ČERPÁNO Z [1].	19
OBRÁZEK Č. 3 – SPEKTRUM ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ ČERPÁNO Z [1].....	21
OBRÁZEK Č. 4 – VLIV TEPLoty PROSTŘEDÍ A POBYTU V NĚM NA PSYCHOLOGICKÝ A FYZIOLOGICKÝ STAV ČLOVĚKA ČERPÁNO Z [3].	22
OBRÁZEK Č. 5 – SCHÉMA PŘÍSTROJE ALAMBETA ČERPÁNO Z [1]	26
OBRÁZEK Č. 6 – VZOREK Č. 1	34
OBRÁZEK Č. 7 – VZOREK Č. 2	35
OBRÁZEK Č. 8 – VZOREK Č. 3	35
OBRÁZEK Č. 9 – VZOREK Č. 4	35
OBRÁZEK Č. 10 – VZOREK Č. 5	35
OBRÁZEK Č. 11 – VZOREK Č. 6	36
OBRÁZEK Č. 12 – VZOREK Č. 7	36
OBRÁZEK Č. 13 – VZOREK Č. 8	36
OBRÁZEK Č. 14 – VZOREK Č. 9	36
OBRÁZEK Č. 15 – VZOREK Č. 10	37
OBRÁZEK Č. 16 – VZOREK Č. 11	37
OBRÁZEK Č. 17 – VZOREK Č. 12	37
OBRÁZEK Č. 18 – VZOREK Č. 13	37
OBRÁZEK Č. 19 – PŘÍKLAD VZORKU PRO MĚŘENÍ VZDUCHOVÉ MEZERY D = 25 MM	52
OBRÁZEK Č. 20 – NÁVRH TVARU VÝPLNĚ SPACÍ PODLOŽKY	58
OBRÁZEK Č. 21 – PROUDĚNÍ ŠÍROKÁ MEZERA.....	60
OBRÁZEK Č. 22 – VNITŘNÍ CÍRKULAČNÍ OBVODY MALÁ MEZERA.....	60

7. SEZNAM TABULEK

TABULKA Č. 1 – SHRNUTÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ SPACÍCH PODLOŽEK	31
TABULKA Č. 2 – NAMĚŘENÉ HODNOTY PŘÍTLAK 200 PA	39
TABULKA Č. 3 – NAMĚŘENÉ HODNOTY PŘÍTLAK 1000 PA	45
TABULKA Č. 4 – HODNOTY ZAPLNĚNÍ	52
TABULKA Č. 5 – KONSTANTY PRO VÝPOČET RAYLEIGHOVA KRITERIA	61
TABULKA Č. 6 – STANOVENÍ PRANDTLOVA ČÍSLA	62
TABULKA Č. 7 – VYBRANÉ HODNOTY VZDUCHU PRO VÝPOČET PŘESTUPU TEPLA ČERPÁNO Z [6]	62
TABULKA Č. 8 – POROVNÁNÍ VÝPOČTENÝCH A NAMĚŘENÝCH TEPELNĚ – IZOLAČNÍCH HODNOT	70

8. SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ

1) ROVNICE – ENERGETICKÉ BILANCE	20
2) VZOREC – MĚRNÁ TEPELNÁ VODIVOST	23
3) VZOREC – TEPLOTNÍ VODIVOST	23
4) VZOREC – TEPELNÁ JÍMAVOST	24
5) VZOREC – PLOŠNÝ ODPOR VEDENÍ TEPLA	24
6) VZOREC – TEPELNÝ TOK	24
7) VZOREC – EKVIVALENTNÍ TEPELNÁ VODIVOST	54
8) VZOREC – SOUČINITEL KONVEKCE	55
9) VZOREC – RAYLEIGHOVO KRITERIUM	55
10) VZOREC – PRANDTLOVO ČÍSLO	55
11) VZOREC – GRASHOFOVO ČÍSLO	56
12) VZOREC – PLANCKŮV ZÁKON	57
13) VZOREC – TEPELNÝ TOK RADIAČNÍ	58
14) VZOREC – TEPELNÝ ODPOR RADIAČNÍ	60
15) VZOREC – TEPELNÁ VODIVOST RADIAČNÍ	60
16) VZOREC – VÝPOČET CELKOVÉ TEPELNÉ VODIVOSTI	61
17) VZOREC – VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI KONVEKCE A SÁLÁNÍ	62

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – hodnoty odečtené z přístroje Alambeta